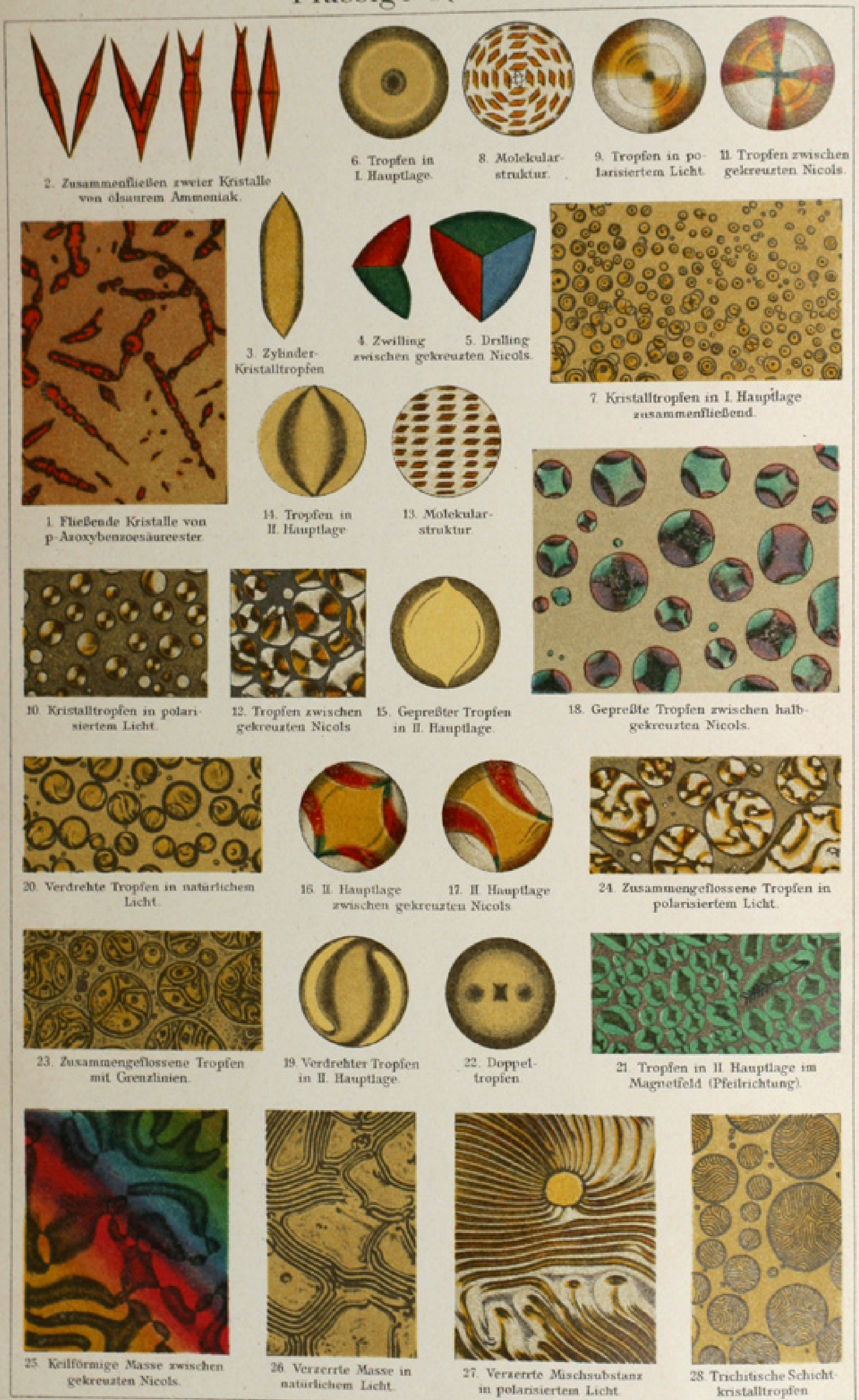
Flüssige Kristalle.



Bibliograph. Institut, Leipzig.

Die Seiten wurden eingescannt mit Hilfe einer
CANON EOS D60 Digitalkamera von Kurt Stüber.

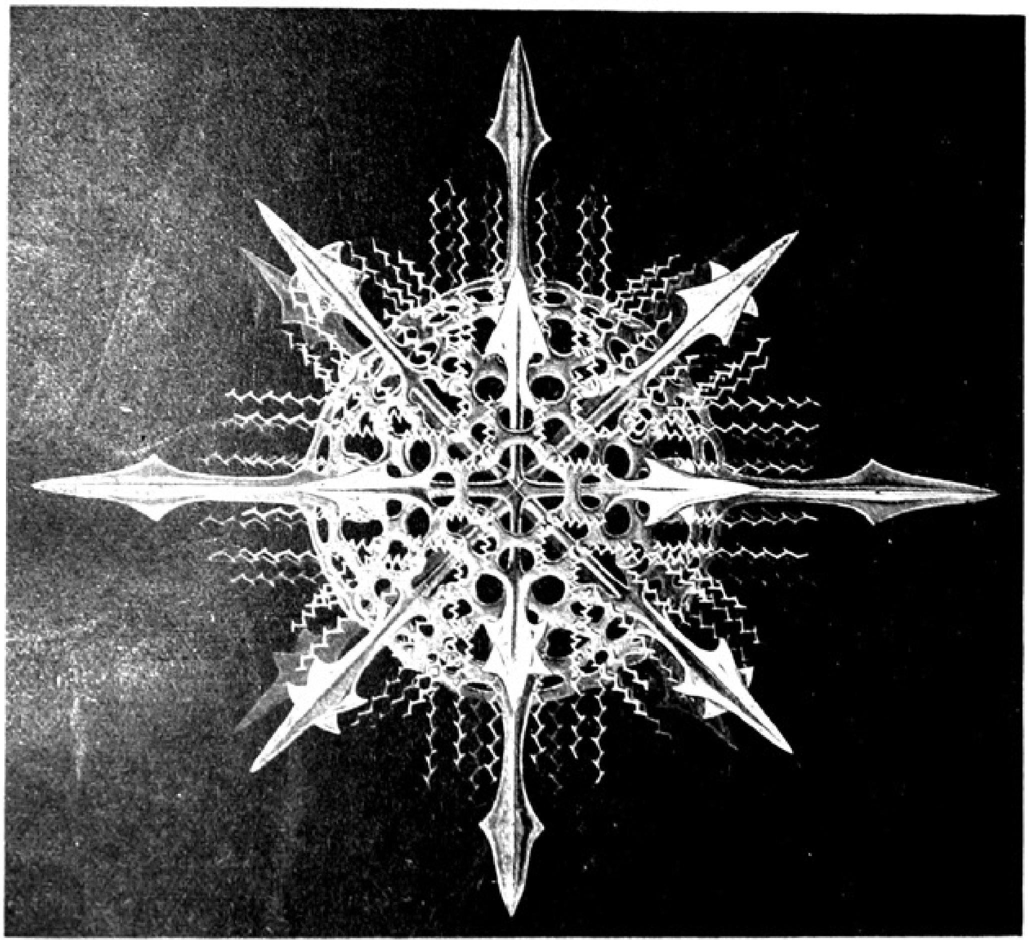
This book has been created using the program make_book.pl, version: 4.0, Date: 2008-Oct-8

KRISTALLSEELEN

STUDIEN ÜBER DAS
ANORGANISCHE LEBEN

VON

ERNST HAECKEL



1917

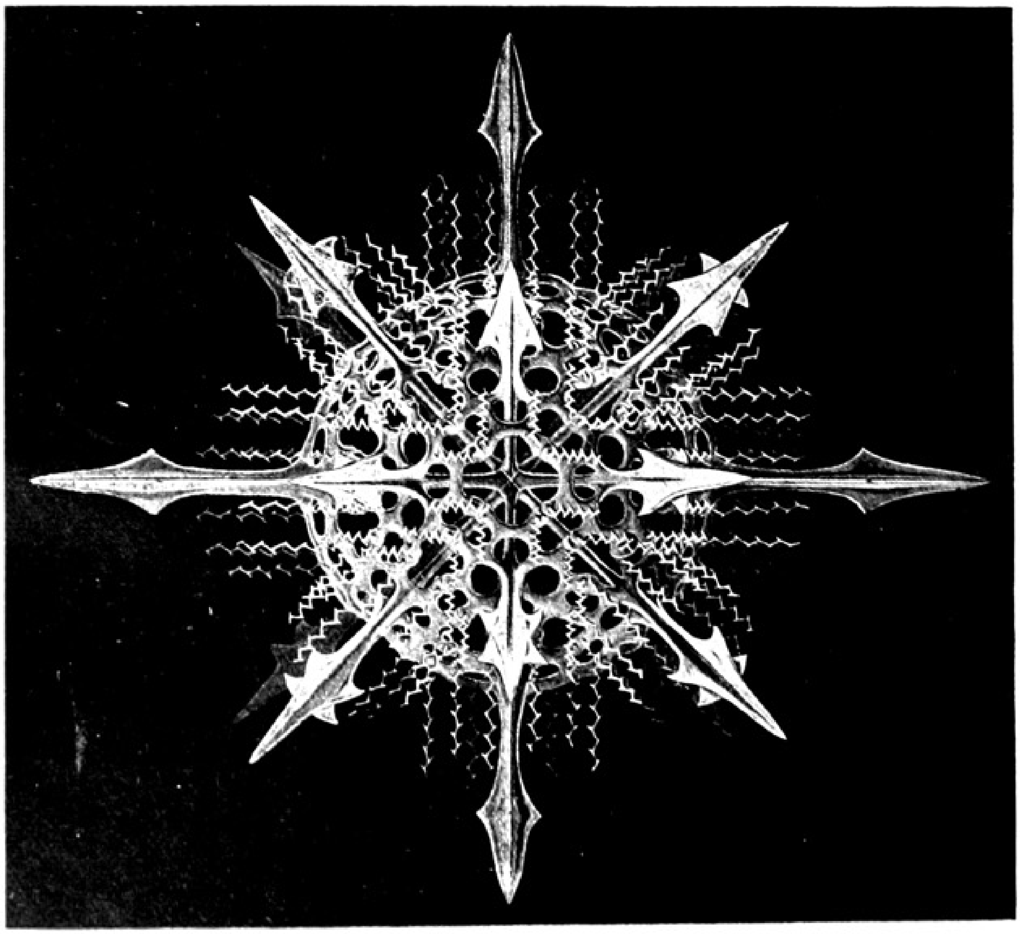
ALFRED KRONER VERLAG IN LEIPZIG

KRISTALLSEELEN

STUDIEN ÜBER DAS
ANORGANISCHE LEBEN

VON

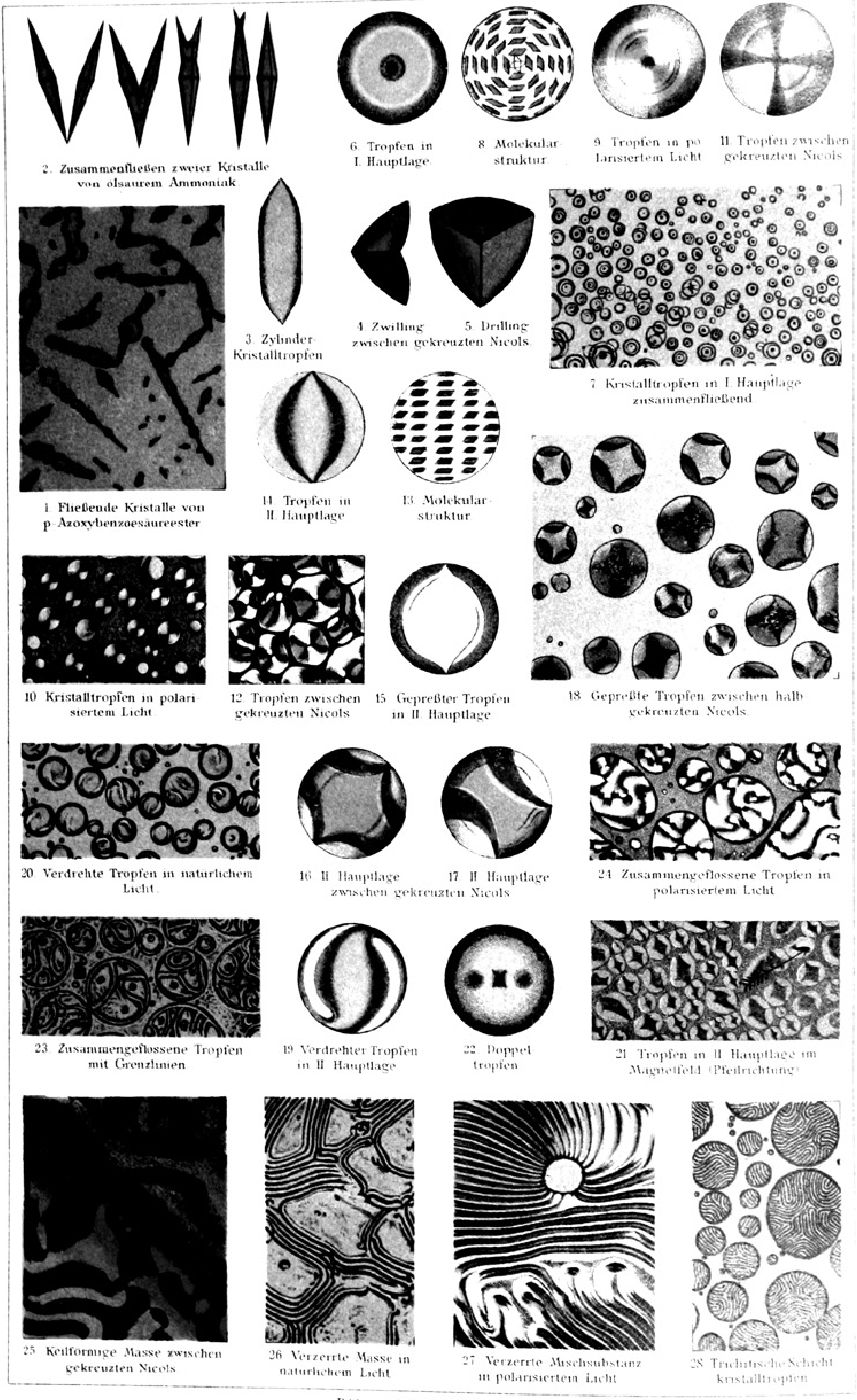
ERNST HAECKEL



1917

ALFRED KRÖNER VERLAG IN LEIPZIG

Flüssige Kristalle.



2. Zusammenfließen zweier Kristalle von ölsaurem Ammoniak.

6. Tropfen in I. Hauptlage.

8. Molekularstruktur.

9. Tropfen in polarisiertem Licht.

11. Tropfen zwischen gekreuzten Nicols.

1. Fließende Kristalle von p-Azoxybenzoesäureester.

3. Zylinder-Kristalltropfen.

4. Zwilling 5. Drilling zwischen gekreuzten Nicols.

7. Kristalltropfen in I. Hauptlage zusammenfließend.

14. Tropfen in II. Hauptlage.

13. Molekularstruktur.

10. Kristalltropfen in polarisiertem Licht.

12. Tropfen zwischen gekreuzten Nicols.

15. Gepreßter Tropfen in II. Hauptlage.

18. Gepreßte Tropfen zwischen halb gekreuzten Nicols.

20. Verdrehte Tropfen in natürlichem Licht.

16. II. Hauptlage 17. II. Hauptlage zwischen gekreuzten Nicols.

24. Zusammengeflossene Tropfen in polarisiertem Licht.

23. Zusammengeflossene Tropfen mit Grenzlinien.

19. Verdrehter Tropfen in II. Hauptlage.

22. Doppeltropfen.

21. Tropfen in II. Hauptlage im Magnetfeld (Pfeilrichtung).

25. Keilförmige Masse zwischen gekreuzten Nicols.

26. Verzerrte Masse in natürlichem Licht.

27. Verzerrte Mischsubstanz in polarisiertem Licht.

28. Trichitische Schicht-Kristalltropfen.

Bibliograph. Institut, Leipzig.

KRISTALLSEELEN

STUDIEN
ÜBER DAS ANORGANISCHE LEBEN

VON

ERNST HAECKEL

MIT 1 TAFEL IN FARBDRUCK
UND ZAHLREICHEN ABBILDUNGEN IM TEXT

ALFRED KRÖNER VERLAG IN LEIPZIG
1917

„Was man an der Natur Geheimnisvolles pries,
Das wagen wir verständig zu probieren;
Und was sie sonst organisieren ließ,
Das lassen wir kristallisieren!“ *Goethe.*

„Wäre die Natur in ihren leblosen Anfängen nicht so gründlich stereometrisch, wie wollte sie zuletzt zum unberechenbaren und unermeßlichen Leben gelangen?“ *Goethe.*

„Wem es nicht zu Kopfe will, daß Geist und Materie, Seele und Körper, Gedanke und Ausdehnung, Wille und Bewegung die notwendigen Doppel-Ingredienzien des Universums waren, sind und sein werden, die beide gleiche Rechte für sich fordern, und deswegen beide zusammen wohl als Stellvertreter Gottes angesehen werden können, — wer zu dieser Vorstellung sich nicht erheben kann, der hätte das Denken längst aufgeben und auf gemeinen Weltklatsch seine Tage verwenden sollen.“ *Goethe.*

Inhalts-Verzeichnis.

Erstes Kapitel: **Kristallotik (= Kristallkunde)** S. 1.

Zweites Kapitel: **Probiontik (= Zytodenkunde)** S. 39.

a*

Drittes Kapitel: **Radiotik (= Strahlingskunde)** S. 61.

Viertes Kapitel: **Psychomatik (= Fühlungskunde)** S. 92.

Anhang: **Synoptische Tabellen** S. 144.

Vorwort.

Die vorliegenden Studien über „Kristallseelen" erstrecken sich auf ein sehr weites Gebiet, an welchem die verschiedensten Zweige der Naturwissenschaft und Philosophie unmittelbares Interesse haben: Kristallographie und Mineralogie, Physik und Chemie, Morphologie und Physiologie, Zoologie und Botanik, Psychologie und Mathematik. Bei der ungeheuren Ausdehnung, welche diese divergenten Wissensgebiete im Laufe des 19. Jahrhunderts erlangt, und bei der weitgehenden Arbeitsteilung, welche deren zahlreiche Vertreter immer mehr einander entfremdet haben, ist es natürlich ganz ausgeschlossen, daß ein einzelner Arbeiter dieselben gleichmäßig beherrschen und in allen betreffenden Fächern gründliche und umfassende Kenntnisse erwerben könnte. Daher wird jeder Versuch, die gemeinsamen Berührungspunkte der verschiedenen Fachwissenschaften hervorzuheben und aus ihrer Kombination allgemeine Ergebnisse zu erzielen, dem gründlichen Fachmann von vornherein verdächtig und als oberflächliche „Dilettanten"-Arbeit erscheinen. Auch ich muß mich diesem Vorwurf aussetzen; denn ich bin in der Mehrzahl der angeführten Fächer nur ein „halbgebildeter Dilettant". Wenn ich trotzdem diesen gewagten Versuch unternehme, so geschieht es lediglich, weil ich den allgemeinen Ergebnissen desselben eine hohe Wichtigkeit beilege und meinen früheren naturphilosophischen Studien damit einen abgerundeten Abschluß geben kann.

„Kristallseelen"? Was soll dieser neue naturphilosophische Begriff bedeuten? Vielleicht eine bodenlose metaphysische Spekulation? Oder ein phantastisches Traumgebilde der Dichtung? Sind nicht Kristalle und Seelen zwei grundverschiedene Erscheinungen, die nichts miteinander zu tun haben?

Die Kristalle galten noch im Anfange unseres 20. Jahrhunderts fast allgemein für leblose starre Naturkörper. Ihre wissenschaftliche Behandlung fiel der Physik und Chemie, der Mathematik und Mineralogie anheim. Die echten Kristalle, wie sie zu Tausenden in allen mineralogischen Sammlungen sich finden, erscheinen in der Tat als feste „tote Körper" ohne Organisation,

meistens begrenzt von ebenen Flächen und geraden Kanten, die unter bestimmten Winkeln zusammenstoßen; auch besitzen sie ein charakteristisches inneres Gefüge, das sich in ihrer Spaltbarkeit kundgibt und auf eine gesetzmäßige innere Anordnung ihrer Moleküle, der kleinsten gleichartigen Teilchen, zurückführen läßt. Die Wissenschaft, die sich mit der Erforschung der „toten“ Kristalle beschäftigt, die Kristallographie, ist daher eine „exakte“ anorganische Naturwissenschaft, die sich in den sicheren Bahnen der Mathematik bewegt und weder mit dem „Leben“, noch mit der „Seele“, als der vollkommensten Erscheinung des Lebens, irgendetwas zu tun hat.

Die Seelen anderseits galten fast allgemein als Erscheinungen des organischen Lebens, die der anorganischen Welt der Mineralien, der Gesteine und Kristalle fremd gegenüberstehen. Ihre hauptsächlichsten Merkmale, Empfindung und Bewegung (oder „Fühlen und Wollen“), sind gebunden an die Organisation der „lebendigen Naturkörper“, an die eigentümliche Zusammensetzung der Organismen aus verschiedenen Organen, auf deren gesetzmäßigem, scheinbar zweckmäßigem Zusammenwirken eben das Leben selbst beruht. So ist demnach die Wissenschaft, der die Erforschung der „lebendigen Seelen“ zufällt, die Seelenkunde oder Psychologie, ein Teil der organischen Naturwissenschaft, der Biologie, und deren Aufgaben sind größtenteils so verwickelt und vielseitig, daß sie nur teilweise einer „exakten“ Behandlung und namentlich der Zurückführung auf die sicheren Formeln der Mathematik zugänglich erscheinen. Ja die Mehrzahl der eigentlichen „Psychologen von Fach“ hält sogar die alte Überlieferung fest, daß die Seelenlehre keine „Naturwissenschaft“, sondern eine reine „Geisteswissenschaft“ ist.

Diese tiefe Kluft zwischen „Kristallen und Seelen“, der weite Abstand der beiden damit beschäftigten Wissenschaften, Kristallographie und Psychologie, bestand noch zu Anfang des 20. Jahrhunderts fast allgemein, wie jeder Blick in die betreffende umfangreiche Literatur, insbesondere die Lehrbücher und Jahresberichte über ihre Fortschritte zeigt. Auch waren ja durch die althergebrachte Arbeitsteilung, die naturgemäß von Jahr zu Jahr mit dem steigenden Wachstum unserer Kenntnisse immer mehr Gewicht erhält, die großen Arbeitsgebiete beider Wissenschaften ganz getrennt. Die Physiker und Chemiker, Mineralogen und Geologen dachten gar nicht daran, Psychologie zu studieren. Ander-

seits waren die Aufgaben und Methoden der eigentlichen Psychologen, ihre verwickelten Probleme und weit entfernten Ziele so verschieden von denjenigen der Kristallographen, daß sie gar kein Bedürfnis fühlten, deren fremdes und weit entferntes Arbeitsgebiet zu betreten.

Da erschienen im Jahre 1904 gleichzeitig eine Anzahl von höchst bedeutenden Arbeiten, welche diese traditionellen Verhältnisse völlig veränderten und einer ganz neuen Forschungsrichtung Bahn brachen. Durch Otto Lehmann (Karlsruhe) wurde seine überraschende Entdeckung der „flüssigen, scheinbar lebenden Kristalle", um deren Anerkennung er sich zwanzig Jahre lang vergeblich bemüht hatte, endlich in einem größeren Werk zur Geltung gebracht. Durch Richard Semon (München) wurde die „Mneme als erhaltendes Prinzip im Wechsel des organischen Geschehens" nachgewiesen und das unbewußte Gedächtnis der lebenden Substanz sowohl zur psychologischen Erklärung der rätselhaften Vererbungs-Prozesse, wie zur Stütze des Biogenetischen Grundgesetzes verwertet. Gleichzeitig erhielt die Lehre vom Seelenleben der Pflanzen eine feste Begründung durch die experimentelle Erforschung ihrer Sinnesorgane (Haberlandt, Nemec, Francé u. a.). Andere Botaniker und Bakteriologen stellten die oft bestrittene Existenz von Zytoden und Moneren fest, von kernlosen Zellen, wie sie noch heute in den Schizophyten leben (Chromaceen und Bakterien). Damit wurde die Reform der Zellentheorie und ihr Ersatz durch die Plastidentheorie durchgeführt, die ich schon 1866 vergeblich angestrebt hatte. Auch der Versuch, den ich damals im zweiten Buche der „Generellen Morphologie" gemacht hatte, durch „allgemeine Untersuchungen über die Natur und erste Entstehung der Organismen ihr Verhältnis zu den Anorganen" aufzuklären, gelangte durch die angeführten und andere gleichzeitige Arbeiten auf biologischem und auf physikalischem Gebiete zu befriedigendem Erfolg. So wurde ich in den Stand gesetzt, durch Zusammenfassung und kritische Verwertung dieser neuen Ergebnisse, gestützt auf langjährige eigene Untersuchungen, in dem Buche über die „Lebenswunder" (1904) das Programm einer neuen „Biologischen Philosophie" zu entwerfen und damit zugleich einen wesentlichen Ergänzungsband zu dem 1899 erschienenen Buche über die „Welträtsel" zu liefern.

Durch diese großartigen Fortschritte unserer tieferen Naturerkenntnis, deren vielseitige Bedeutung noch heute den meisten

Naturforschern und Philosophen nicht zum Bewußtsein gekommen ist, sowie durch andere gleichzeitig auftretende Entdeckungen auf verschiedenen Gebieten wurde das Jahr 1904 zu einem hervorragenden Markstein in der Geschichte der Naturphilosophie. Als wichtigste Errungenschaft desselben betrachten wir die definitive Überzeugung von der fundamentalen Einheit aller Naturerscheinungen, die im Begriffe des „Monismus" ihren einfachsten und klarsten Ausdruck findet. Es fielen jetzt mit einem Schlage die künstlichen Grenzen, die man bisher zwischen anorganischer und organischer Natur, zwischen Tod und Leben, zwischen Naturwissenschaft und Geisteswissenschaft errichtet hatte. Alle Substanz besitzt Leben, anorganische ebenso wie organische; alle Dinge sind beseelt, Kristalle so gut wie Organismen. Unerschütterlich erhebt sich aufs neue die alte Überzeugung von dem inneren einheitlichen Zusammenhange alles Geschehens, von der unbegrenzten Herrschaft allgemeingültiger Naturgesetze: „Nach ewigen, ehernen, großen Gesetzen müssen wir alle unseres Daseins Kreise vollenden!" Was Goethe vor hundert Jahren mit seinem wunderbar tiefen Naturverständnis geahnt und mit unvergleichlichen Dichterworten in Weimar und Jena prophetisch ausgesprochen hatte, das ist heute zum strahlenden Sonnenlichte wissenschaftlicher Erkenntnis und Wahrheit geworden.

Vor drei Jahren habe ich bei Gelegenheit meines achtzigsten Geburtstages in der kleinen Schrift „Gott-Natur" (Theophysis) die Ergebnisse meiner „Studien über monistische Religion" kurz zusammengefaßt und zu zeigen versucht, wie die monistische Weltanschauung unsers größten Dichters und Denkers durch die neuesten Ergebnisse der modernen Naturforschung eine glänzende Bestätigung und Erweiterung gefunden hat. Wenn Goethe im Kristall ebenso „Leben und Seele" fand, wie in der „Metamorphose der Pflanze", wenn er im Schädel des Menschen denselben Wunderbau entdeckte wie im Kranium der anderen Wirbeltiere, so bereitete er schon vor 130 Jahren die Erkenntnis der wichtigsten Anschauungen vor, deren tieferer Begründung die vorliegende Skizze über „Kristallseelen" gewidmet ist. Ihr Zweck wird erreicht sein, wenn sie Anregung zu weiteren Untersuchungen über Kristallotik und Probiontik, über Radiotik und Psychomatik gibt.

Jena, 14. September 1917.

Ernst Haeckel.

Erstes Kapitel:

Kristallotik (= Kristallkunde).

Aufgabe der Kristallotik. Das wichtige und interessante Gebiet der Naturwissenschaft, welches bisher als „Kristallographie" ein Hauptstück der sogenannten „Anorganischen Naturkunde" — oder im engeren Sinne der „Mineralogie" — bildete, hat durch Lehmanns Entdeckung der „Flüssigen Kristalle" (1904) eine völlig veränderte Stellung und eine sehr erweiterte Bedeutung erlangt. Bisher wurde die Kristallkunde gewöhnlich als „Kristallographie" den Mineralogen, Physikern und Chemikern überlassen, und demgemäß als Hauptaufgabe ihre systematische Klassifikation, die Beschreibung der mannigfaltigen Kristallformen, ihrer physikalischen Eigenschaften und ihrer chemischen Zusammensetzung angesehen. In dem vortrefflichen „Grundriß der Kristallographie" von Gottlob Linck*), der den neuesten Stand dieser Wissenschaft in klarer Form sehr übersichtlich darstellt, ist demgemäß der weitaus größte Teil der systematischen Beschreibung der 32 Symmetrieklassen und ihrem optischen Verhalten gegen das Licht gewidmet. Wie früher die Biologie im wesentlichen als „Naturbeschreibung" galt, trug auch die Kristallographie (als Teil der Mineralogie) überwiegend den Charakter einer „Deskriptiven Naturwissenschaft".

Durch die großen Fortschritte, welche die physikalische und chemische Erforschung der Kristalle seit Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts gemacht hat, in erster Linie durch die gründliche Erkenntnis der „lebenden Kristalle", hat sich die allgemeine Bedeutung der Kristallkunde und ihre Beziehung zu den anderen Zweigen der Naturwissenschaft wesentlich verändert. Von unserem monistischen Standpunkte aus betrachten wir jetzt die Kristalle als „lebende Naturkörper" und mit Rücksicht auf ihre psychomechanischen Eigenschaften auch als „beseelte". Wir dürfen

---

*) Gottlob Linck, Grundriß der Kristallographie für Studierende und zum Selbstunterricht 3. Aufl., 1913, 274 Seiten.

demnach die „Kristallologie" im weitesten Sinne als umfassende **Kristallotik** bezeichnen und ihrem wichtigsten Zweige, der **Morphologie** (— der „deskriptiven Kristallographie" —) als gleichberechtigte Zweige die „Physiologie" und „Psychomatik" der Kristalle an die Seite stellen. Während die erstere die Formen der Kristalle beschreibt und klassifiziert, fällt der „Kristallogenie" die Erforschung ihrer Entwicklung zu; die „Physiologie der Kristalle" hat ebenso wie diejenige der Organismen ihr physikalisches und chemisches Verhalten zu untersuchen, und die „Psychomatik der Kristalle" ihr „Anorganisches Seelenleben", die psychomatischen Gesetze ihrer Fühlung und ihres Willens, die Richtung ihrer geheimnisvollen Molekularkräfte.

Kristall-Ordnungen. Die Erweiterung unserer allgemeinen kristallotischen Anschauungen, welche seit 1904 durch die tiefere Erkenntnis der flüssigen Kristalle und ihrer nahen Beziehungen zu den niedersten Organismen herbeigeführt wurde, läßt es zweckmäßig erscheinen, folgende vier Hauptgruppen oder Ordnungen von Kristallen zu unterscheiden (nicht zu verwechseln mit den „Symmetrieklassen der Kristallformen"): I. Sterrokristalle: die echten „starren Kristalle", die bis zum Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts fast allgemein als „typische oder wirkliche Kristalle" betrachtet wurden. II. Kollokristalle: Gallertkristalle, welche im Wasser aufquellen und ihr Volumen bedeutend verändern können, ohne ihre typische Kristallform zu verändern (Eiweißkristalle in Pflanzenzellen, Tierblut usw.). III. Biokristalle: Feste Mischkristalle, aus der gemeinsamen Arbeit von lebendigem Plasma und mineralischer Substanz (Kalk, Kiesel usw.) entstanden. IV. Rheokristalle: die flüssigen oder „scheinbar lebenden" Kristalle von Otto Lehmann.

Sterrokristalle. Die starren Kristalle, welche bis zum Beginn des 20. Jahrh. fast allein als „Echte Kristalle" bezeichnet wurden, sind charakterisiert durch ihren festen Aggregatzustand und die prismatische Grundform ihres unbeweglichen Körpers. Diese feste prismoide Gestalt ist stets einer exakten Messung, klaren geometrischen Definition und mathematischen Berechnung zugänglich (Kristallometrie). Ihre Oberfläche ist von ebenen parallelen Flächen begrenzt, deren gerade Kanten sich unter konstanten Winkeln schneiden; diese stoßen in Ecken zusammen, die den Polen von konstanten, im Mittelpunkt sich schneidenden idealen Achsen entsprechen. Dieser symmetrischen äußeren Form

entspricht eine charakteristische innere Struktur, welche sich äußert in ihrer Spaltbarkeit und dem verschiedenen Verhalten der Moleküle gegen Licht, Wärme, Elektrizität und andere physikalische Einflüsse. Durch die idealen Achsen, deren Verhältnisse die stereometrische Grundform bestimmen, lassen sich konstante Symmetrieebenen legen. Trotz der großen Mannigfaltigkeit, welche die Sterrokristalle im einzelnen zeigen, lassen sich doch alle Grundformen auf sechs Systeme zurückführen. Diese sind für unsere vergleichende Betrachtung der Anorgane und Organismen deshalb von Bedeutung, weil sie auch bei einem Teile der Protisten, vor allen der Radiolarien, in ganz gleicher Gesetzlichkeit die geometrische Grundform bestimmen.

Symmetrie-Systeme. Die sechs morphologischen Kristall-Systeme, die in der Tabelle I übersichtlich charakterisiert sind, besitzen ungleichen promorphologischen Wert. Das erste, tesserale oder reguläre System steht den fünf übrigen voran und ist ausgezeichnet durch drei gleiche und gleichwertige, aufeinander senkrecht stehende Achsen; sein inneres Gefüge ist isotrop wie das der Kugel; die Moleküle sind nach allen Richtungen des Raumes gleichmäßig orientiert, wie bei den amorphen Körpern und den Flüssigkeiten. (Vgl. Fig. 1—3; Taf. C, Fig. 3.) — Im Gegensatze zu diesen isotropen regulären Kristallen sind die übrigen fünf Systeme anisotrop; ihre innere Molekülordnung ist verschieden nach den drei Richtungen des Raumes; das innere Gefüge verhält sich gegenüber Druck, Wärme, Licht usw. ungleich. Von diesen fünf anisotropen Systemen sind die beiden ersten dadurch ausgezeichnet, daß eine Hauptachse, die wir uns vertikal stehend denken, die Grundform bestimmt. Im tetragonalen oder quadratischen System wird diese Hauptachse (länger oder kürzer als die anderen) in der Mitte von zwei gleichen rechtwinklig gekreuzten Nebenachsen oder „Kreuzachsen" geschnitten, so daß die horizontale Mittelebene des Kristalls ein Quadrat bildet. Die Grundform ist eine „quadratische Doppelpyramide", von acht gleichen, gleichschenkeligen Dreiecken eingeschlossen. Im hexagonalen System dagegen (z. B. im Schnee, Taf. B) wird die vertikale Hauptachse in der Mitte von drei gleichen Nebenachsen geschnitten, die sich unter Winkeln von 60° kreuzen; somit ist die Grundform eine sechsseitige Doppelpyramide, von zwölf gleichen gleichschenkeligen Dreiecken eingeschlossen. Der horizontale Querschnitt bildet hier ein reguläres Sechseck. (S. 15, Taf. B, Fig. 12—14.)

1*

Die drei übrigen Symmetrie-Systeme haben für uns geringeres promorphologisches Interesse und zeigen kompliziertere Verhältnisse; sie kommen in der organischen Formenwelt der Protisten weit seltener vor, als die Formen der drei ersten Symmetrie-Systeme. Das vierte, rhombische System ist charakterisiert durch drei ungleiche Richtachsen, die sich rechtwinkelig schneiden; ihnen entsprechen drei Symmetrieebenen, die aufeinander senkrecht stehen. Auch das fünfte, klinorhombische oder monokline System zeigt drei ungleiche Richtachsen; von diesen schneiden sich aber zwei unter schiefen Winkeln, während die dritte auf der durch diese gelegten Gürtelebene senkrecht steht. Im sechsten, triklinen oder asymmetrischen System sind alle drei Richtachsen ungleich und schneiden sich unter schiefen Winkeln; es ist keine Symmetrieebene vorhanden.

(Vgl. die erste Synoptische Tabelle unten im Anhang.)

Kristallindividuen (Einzelkristalle). Das Hauptobjekt der Kristallographie ist das Kristall-Individuum, der einzelne Kristall als bestimmt geformter Körper von chemisch homogener Beschaffenheit. Man kann zwar in letzterer Beziehung reine Kristalle und Mischkristalle unterscheiden, und als Übergangsformen zwischen beiden die „Schichtkristalle".*) Indessen ist für unsere vorliegende Aufgabe, die Vergleichung der individuellen Kristalle mit den Probionten und Radiolarien, dieser Unterschied zunächst nicht wesentlich. Denn auch die einfachsten Formen der Chromaceen, die homogenen Plasmakugeln von Chroococcus, kann man als sphärische „Schichtkristalle" betrachten, insofern die wachsende Zytode, eine strukturlose Plasmakugel, als „Oberflächenprodukt" eine Gallerthülle oder Membran bildet. Wenn wir hier also bloß die morphologische Individualität des Kristalls im allgemeinen, in anatomischer und ontogenetischer Beziehung betrachten, so ist zunächst zu betonen, daß jeder Monokristall in Raum und Zeit begrenzt ist. Jede Kristallform, als Individuum oder Singulat (gleichviel ob chemisch homogen oder gemischt) geht bei seiner Entstehung von einem „Keim", d. h. einer zentralen Molekülgruppe aus und wächst bis zu einer bestimmten Größe an. Diese individuelle Maximalgröße ist bei den einzelnen Spezien sehr verschieden, wird aber nach oben hin nicht überschritten. So gibt es sehr zahlreiche Kristalle (nament-

*) Otto Lehmann, 1911, Die neue Welt der flüssigen Kristalle, S. 124: Schichtkristalle von Tonalaun und Chromalaun.

lich Biokristalle), welche mikroskopisch klein bleiben und noch nicht 1 mm Durchmesser erreichen. Anderseits wachsen anorganische Riesenkristalle (z. B. von verschiedenen Alaunarten) bis über ein Meter Durchmesser an. Manche uralte Monokristalle (z. B. von Bergkristallen) erreichen einen Umfang von mehreren Metern und ein Gewicht von mehr als einem Zentner.

Ebenso begrenzt wie im Raum ist jedes Kristall-Individuum auch in der Zeit; es hat eine bestimmte Lebensdauer, welche einerseits von seiner inneren chemischen Konstitution, anderseits von den äußeren Bedingungen seiner Entwicklung abhängig ist. Auch hier ist eine bestimmte Grenze nach unten hin nicht anzugeben, wohl aber nach oben. Denn die Geologie lehrt uns, daß zwar die ältesten Sedimente der Erdrinde mehr als hundert Millionen Jahre alt sind, daß aber die darin eingeschlossenen Kristalle trotzdem kein „ewiges Leben" besitzen. Auch wenn wir sie aus ihrem „Scheintod" erwecken, wenn wir ihr latentes Leben durch Zufuhr neuen Nährmaterials wieder zu weiterem Wachstum anregen könnten, so würde dieses doch immer in der Zeit wie im Raum begrenzt bleiben. Jeder Monokristall, ebenso wie jede organische Plastide, ist eine historische Größe, die als solche einmal war und nicht wiederkehrt.

Kristallvereine (Sammelkristalle). Durch soziale Vereinigung mehrerer oder vieler Monokristalle entstehen Kristallvereine oder Coenokristalle. Für die Vergleichung derselben mit den Coenobien der Protisten sind zunächst die wichtigsten die Kristallketten, welche durch Catenation entstehen. Wie die Glieder einer Kette oder Perlschnur legen sich viele Individuen in einer Reihe aneinander, in einer bestimmten Richtung. Die kleinsten von diesen Ketten sind die Margariten, perlschnurähnliche Gebilde, deren einzelne Glieder die sogenannten Globuliten sind, Kugelkristalle (oder amorphe Kügelchen?) von sehr geringen Dimensionen. Größere solcher Kristallketten finden sich sowohl bei starren als bei flüssigen Kristallen. Sie entsprechen vollkommen den Zytodenketten der Probionten, sowohl der Chromaceen (Oszillarien, Nostocaceen usw.) als der Bakterien (Streptokokken, Crenothrix usw.). Diesen schließen sich weiterhin die echten Zellketten der eigentlichen „Fadenalgen" an (Conferva, Ulothrix usw.). Auf der anderen Seite erhebt sich hier die wichtige Frage, ob in diesen Catenationen nicht ähnliche Kräfte walten, wie sie in der unsichtbaren Welt der Moleküle beim Auf-

bau des „Raumgitters" der Sterrokristalle wirksam sind? Die parallele Anlagerung gleichwertiger Elementarteile in einer bestimmten Richtung ist jedenfalls eine Erscheinung, die bei psychomatischer Deutung ein Licht wirft auf viele verschiedene, scheinbar weit entfernte Prozesse sozialer Organisation.

Dendriten. Wenn die einfachen Ketten der Sterrokristalle sich verzweigen, entstehen baumförmige Gebilde, die oft die größte Ähnlichkeit mit den verästelten Stöcken von Pflanzen und niederen Tieren (Polypen, Bryozoen) zeigen. Die bekanntesten sind die zierlichen Eisblumen, welche im Winter die Glasfenster unserer Stuben schmücken. Diese höchst mannigfaltigen, oft phantastisch zusammengesetzten Eisbildungen sind nichts anderes als vielverzweigte Ketten von kleinen Eiskristallen, die aus dem Wasserdampf der warmen Zimmerluft an den kalten Glasscheiben sich in kurzer Zeit niedergeschlagen haben. Tausende solcher kleinen Wasserkristalle setzen sich reihenweise aneinander und die Ketten verzweigen sich je nach den Bedingungen der Umgebung. Noch zierlichere „Kunstformen der Natur" bilden die mineralischen Dendriten, verästelte Kristallvereine, welche täuschend den reichverzweigten Pflanzenstöcken von Algen, Moosen, Koniferen usw. gleichen. Sie finden sich namentlich in den Spalten und Klüften vieler Kalksteine (z. B. Solenhofener Schiefer) und Sandsteine, kommen aber auch in Meteorsteinen vor; sie bestehen hauptsächlich aus Coenokristallen von Brauneisenstein, kieselsaurer Magnesia usw., können aber auch künstlich dargestellt werden. Die zierlichen „Metallbäume", welche man durch Verdampfung von Metallsalzlösungen wachsen lassen kann (Saturnusbaum aus Bleizuckerlösung, Dianenbaum aus Silberlösung usw.) sind so ähnlich reich verzweigten kleinen Sträuchern und Bäumen, daß sie früher oft für direkte Produkte des Pflanzenreiches gehalten worden sind.

Konkreszenz (Synkristalle). Von den unregelmäßigen Verwachsungen geselliger Kristalle, wie sie in den vorstehend erwähnten Aggregaten, den großenteils durch äußere Bedingungen zufällig entstandenen Coenokristallen vorliegen, sind die gesetzmäßigen Verwachsungen der Synkristalle zu unterscheiden, die man als „Zwillings-, Drillings-, Viellingskristalle" bezeichnet. Diese Konkreszenz kann sowohl durch parallele wie durch symmetrische Stellung der Moleküle in den beiden (oder mehreren) verwachsenden Monokristallen bedingt sein. In beiden Fällen

wird dadurch ein stabiler Zustand oder eine Gleichgewichtslage erreicht, welche einem „Lustgefühl“ der verbundenen Zwillinge (Viellinge) entspricht. Sie läßt sich der Kopulation von Zytoden und von Zellen bei den Protisten vergleichen. Für die „Fühlung“ der Kristallseelen sind diese Konkreszenzen insofern beweisend, als die psychomatische Deutung derselben allein imstande ist, die bestimmte „Richtung“ der verwachsenden Monokristalle, ihre symmetrische Anordnung im Raum zu erklären. Bei der Kopulation von Zellen (wie sie bei der Gametenbildung von Protisten sehr verbreitet ist) nimmt die neuere Biologie mit Recht an, daß ihre Verwachsung durch Fühlung und „Neigung“ der beiden kopulierenden Individuen bedingt wird. Dasselbe gilt für die seltenere Konkreszenz von gewebebildenden Pflanzen und Tieren, von Histonen (z. B. Diplozoon). Die gleiche psychomatische Ursache dürfen wir aber auch für die Entstehung der Synkristalle annehmen.

Entwicklung der Sterrokristalle. Die Vorgänge der Kristallisation sind jetzt als wirkliche „Lebenserscheinungen“ aufzufassen. Wenn ein chemisch einfacher Körper aus dem flüssigen Zustande (Schmelze oder Lösung) in den festen übergeht, z. B. durch Abkühlung der geschmolzenen oder Verdampfung der gelösten Masse, so bildet sich zunächst ein sogenannter „Kristallkeim“ oder „Kristallkern“, ein dichteres Aggregat von Molekülen, welches anziehend auf die umgebenden Massenteilchen wirkt. In einer bestimmten Richtung — einer stereometrischen Achse entsprechend — legen sich gleichgerichtet Moleküle an den Keim in gesetzmäßiger Symmetrie parallel an. Da schon der Keim die charakteristische Form des betreffenden Kristallsystems besitzt, erscheint das wachsende Individuum als stetig sich vergrößerndes Abbild des Keims. Dieses Wachstum geschieht bei den Sterrokristallen durch äußere Anlagerung (Apposition oder Juxtaposition), während es bei den Rheokristallen auch durch innere Aufnahme (Intussusception) erfolgen kann, wie bei den Organismen. Durch die „flüssigen Kristalle“ ist also der wesentlichste Unterschied aufgehoben, welcher früher zwischen organischen und anorganischen Körpern sowohl in Beziehung auf den Aggregatzustand wie auf das Wachstum bestand. Auch bei den Kristallen ist allgemein — wie bei den Organismen — das Wachstum (Crescentia) als diejenige „Lebenserscheinung“ zu betrachten, welche die Entwicklung des Individuums in erster Linie bedingt.

Kristallskelette. Von hoher Bedeutung für die psychomatische Beurteilung des Kristallisations-Prozesses sind diejenigen Kristallformen, welche von den Kristallographen neuerdings als Kristall-Skelette bezeichnet werden. Wenn ein Sterrokristall aus einer Schmelze (bei rascher Abkühlung) oder aus einer Lösung (bei schneller Verdampfung) in kurzer Zeit herauskristallisiert, so erfolgt das Wachstum des Keims vorzugsweise in der Richtung der Achsen nach deren Polen hin, und prägt sich an diesen Ecken und den sie verbindenden Kanten aus. Dagegen bleibt zurück oder erfolgt nur langsam nachträglich die Ausbildung der Flächen. Da nun für die deskriptive Kristallographie gerade die gesetzmäßige Ausbildung dieser polygonalen Flächen und der mannigfachen sie trennenden Kanten von besonderem Interesse ist, wird die feste Gestaltung der Achsen und ihrer nächsten Umgebung

Fig. 1—4. **Kristallisation des Kochsalzes**
(Chlornatrium; Würfel des tesseralen Systems).
Nach Leduc (Nantes), Theorie de la vie, 1910.

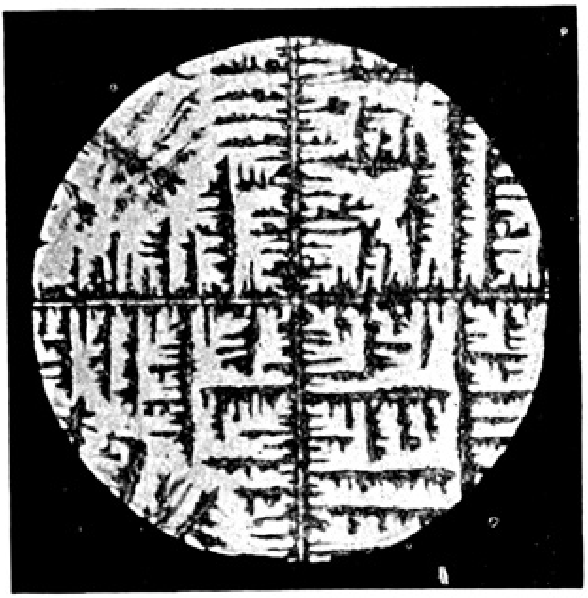


Fig. 1. **Primäres Kristallskelett.**
Ein „lebendes" Kristallisationsfeld, in welchem von einem zentralen Keim (oder Kern) ausgehend die Moleküle des Kochsalzes in der Richtung der drei Koordinaten-Achsen sich aneinanderketten. Aus den drei Molethynenwegen erster Ordnung wachsen senkrecht solche zweiter, und aus diesen, wieder unter rechten Winkeln, solche dritter Ordnung hervor.

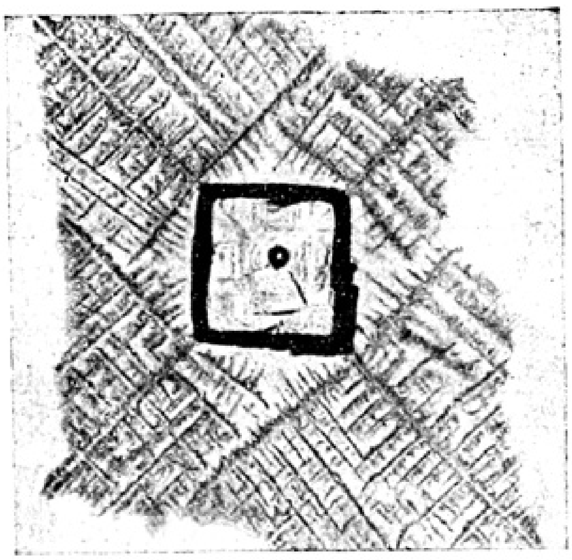


Fig. 2. Ein wachsender **Kristall im Kristallisationsfeld,**
in welchem der zentrale Keim von einem schon vorhandenen Kochsalzwürfel gebildet wird. Die primären vier Strahlen, entsprechend den molekularen Richtaxen oder Molethynenwegen, gehen von den acht Ecken des Würfels aus.

Fig. 4. **Zur Pathologie des Kristall-Lebens.**

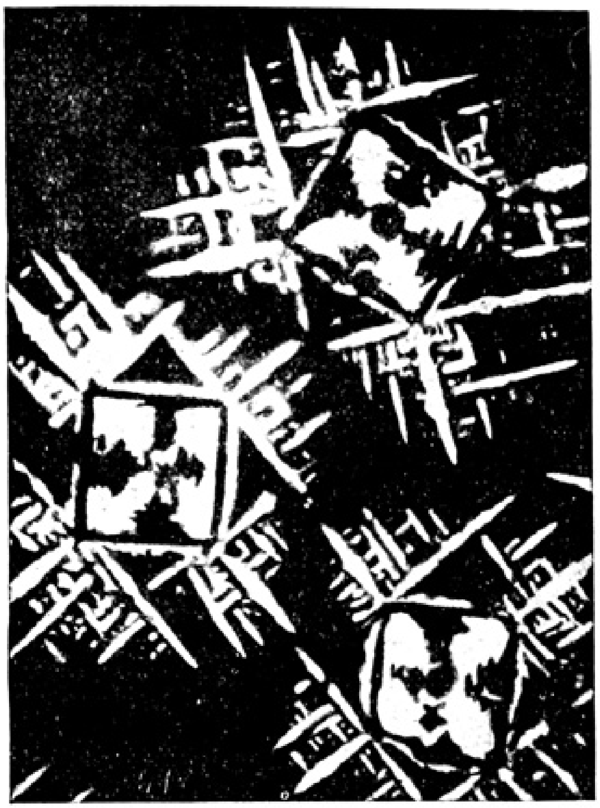


Fig. 3. Ein **Kristallisationsfeld** mit drei Kochsalzwürfeln.

Von den acht Ecken der primären Würfel wachsen in der Verlängerung ihrer Achsen kurze primäre und aus diesen perpendikulär sekundäre Molethynenwege hervor.

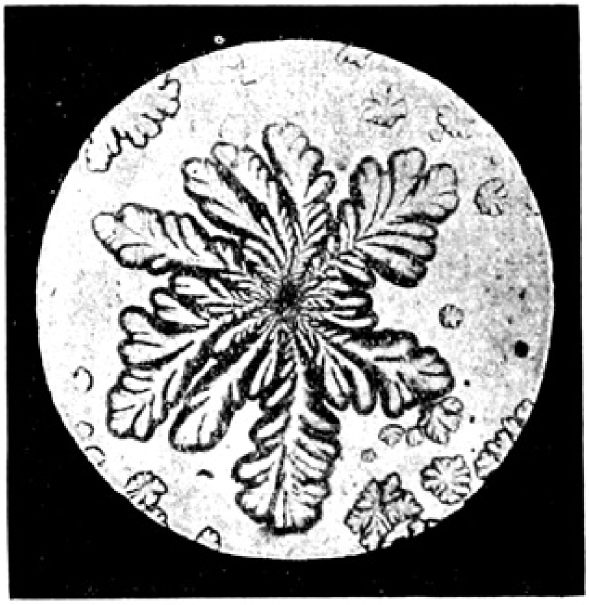


Fig. 4. **Abnorme Kochsalzkristalle** (— krank —), ähnlich gefiederten Blättern, in einer kolloidalen Lösung gebildet.

weniger betont. Aber gerade diese „unvollkommene oder überhastete Kristallisation" ist für die Vergleichung der Sterrokristalle mit Radiolarien und anderen kristallomorphen Protisten von besonderer Wichtigkeit. Denn sie wirft ein helles Licht auf die psychomatischen Kräfte der Molekularbewegung, welche als Molethynen die geometrische Gestalt des Monokristalls bedingen. Der innere Achsenstern ist wichtiger für die Entwicklung und den Charakter der prismatischen Sterrokristallform, als die spezielle Ausbildung der äußeren Flächen in ihren zahlreichen einzelnen Modifikationen. Wie in der Beurteilung des Wirbeltierkörpers die genaue Kenntnis und die vergleichende Anatomie des inneren Skelettes die erste Vorbedingung für das Verständnis und die systematische Einordnung der äußeren Einzelgestalt ist, so gilt ganz dasselbe auch für die Morphologie der Sterrokristalle.

Leben der Sterrokristalle. Der feste anorganische, stereometrisch definierte Kristall, der bisher gewöhnlich als leblos und tot angesehen wurde, besitzt wirkliches „Leben" ebenso gut wie der

„Organismus" einfacher Art im Protistenreiche. Der Monokristall lebt und erhält sich als selbständiges Individuum, solange in seiner Substanz die physikalischen und chemischen Kräfte — oder „Energieformen" — sich erhalten, die durch seine elementare Konstitution bedingt sind. Diese „Lebenskraft" (in physikalischem Sinne) tritt uns unmittelbar und sichtbar entgegen als „lebendige Kraft" oder „aktuelle Energie", solange der Sterrokristall wächst und sich entwickelt. Sie verschwindet aber auch nicht, wenn dieses Wachstum vollendet und Ruhezustand eingetreten ist. Sie verharrt dann als latente Kraft oder „potentielle Energie" in dem „scheintoten" Kristall, solange die inneren und äußeren Bedingungen dies gestatten. Wirklicher Tod des Individuums tritt erst ein, wenn diese Bedingungen aufhören und die innere Konstitution zerstört ist.

In gleichem Sinne hat schon vor beinahe hundert Jahren C. G. Carus und mit ihm übereinstimmend Goethe das wirkliche „Leben der Kristalle" aufgefaßt. In seinen „Grundzügen allgemeiner Naturbetrachtung"*) (1823) sagt er: „Das Kristallisieren selbst, die aus inneren Prinzipien entstehende Bewegung des Stoffes, müssen wir allerdings Leben nennen; aber dieses Leben erlischt in dem endlich erstarrten Gebilde des Kristalls." Dabei ist besonders zu betonen, daß Goethe auf Grund seiner vieljährigen mineralogischen und biologischen Studien zu einer kritischen Vergleichung des organischen und anorganischen Lebens besonders befähigt und dabei nicht durch die Schranken gehemmt war, welche die kurzsichtigen und beschränkten Fachgelehrten an einer naturgemäßen Beurteilung der großen allgemeinen Bildungsprinzipien hindern. Wie Goethe in seinen morphologischen Studien über die vergleichende Anatomie des Schädels und über die Metamorphose der Pflanzen den herrschenden Anschauungen der Zoologen und Botaniker vom Fach weit überlegen war, so auch in seinen Anschauungen über „das Leben der Kristalle" gegenüber den Mineralogen.

Anpassung der Sterrokristalle. Die charakteristische Symmetrie in der inneren Struktur der starren Kristalle, das Verhältnis ihrer maßgebenden Achsen und Pole, insbesondere die Konstanz ihrer Kantenwinkel, ist durch ihre chemische Konstitution, durch

*) Einleitung zu C. G. Carus: Urteile des Knochengerüstes usw.; mitgeteilt von Steiner im Band 114 von Kürschners „Deutscher National-Literatur" (XI, S. 426).

die Wahlverwandtschaft der Atome und die Richtkraft der aus diesen zusammengesetzten Moleküle bedingt. Dagegen ist die äußere Gestalt und Größe sowie die spezielle Flächenform des Kristall-Individuums abhängig von den äußeren Bedingungen seiner Entwicklung, zunächst der Ernährung. Dabei sind vor allem von Einfluß die Verhältnisse seiner unmittelbaren Umgebung, die Temperatur und der Druck, die Beziehung zu den berührenden Objekten. Bei Sterrokristallen, die aus Lösungen entstehen, ist wichtig deren Konzentration, das Verhältnis zu den Lösungsgenossen, die Ruhe der Mutterlauge und die physikalische Beschaffenheit der Umwelt. Die schönsten und regelmäßigsten Sterrokristalle erhält man bei sehr langer Zeitdauer und ungestörter Ruhe der Kristallisation in einem großen Gefäße, dem gesättigte Lösung dauernd und langsam zugeführt wird. Wenn dagegen der Entwicklungsprozeß durch Erschütterung, z. B. Umrühren, gestört wird, so entsteht „Kristallmehl", ein Pulver, das sich aus vielen kleinen Kristallen zusammensetzt. Die Symmetrie des normalen Sterrokristalls bildet sich am vollkommensten aus, wenn er in der Schwebe inmitten der Lösung erhalten wird; wenn er dagegen am Boden des Gefäßes aufliegt, wird diese Sitzfläche abnorm gebildet. Mithin ist bei den anorganischen Kristall-Individuen die günstigste Ausbildung ebenso von Raum und Zeit abhängig, wie bei den organischen Individuen.

Regeneration der Sterrokristalle. Eine auffallende Erscheinung im Leben der Kristalle zeigt sich in ihrem Vermögen der Regeneration, der Wiederersetzung verletzter Teile. Dieser Vorgang besitzt eine offenbare Ähnlichkeit mit dem bekannten Regenerations-Vermögen vieler Organismen. Nicht allein niedere, sondern auch höhere Pflanzen und Tiere können verlorengegangene oder verletzte Körperteile durch partielles Wachstum wieder ersetzen. So können auch verletzte Kristalle, und zwar ebenso feste als flüssige Individuen, eine Verletzung wieder ausheilen. Bezügliche alte Experimente von Lavalle über Kristallisation wurden neuerdings vielfach mit Erfolg wiederholt. Wenn man einem in der Bildung begriffenen Oktaeder eine Kante wegschneidet und so durch „Verwundung" eine künstliche Fläche erzeugt, bildet sich eine ähnliche Fläche von selbst an der korrespondierenden, genau gegenüberliegenden Kante, während die übrigen Kanten die normale Form entwickeln. Dadurch wird eine innere Korrelation der Teile dargetan, welche physiologisch die einheitliche Gestaltungs-

kraft und psychomatisch das Symmetriegefühl des Individuums deutlich beweist. (— Vgl. unten Kap. IV, „Symmetrismus.“ —)

Tod der Sterrokristalle. Da für jede einzelne, durch ihre chemische Zusammensetzung und ihre geometrische Grundform charakterisierte Kristallart eine Grenze des Wachstums besteht, ist auch das individuelle Leben des einzelnen Kristalls abgeschlossen, wenn diese Grenze erreicht ist. Der fertige Sterrokristall ist tot, wenn er nicht mehr wachsen und sich vergrößern kann. Viele Kristalle, besonders von Salzen, enthalten Wasser, oft in beträchtlicher Quantität. Dieses Kristallwasser kann nur locker zwischen die Moleküle eingelagert sein und dann leicht durch Erhitzen entfernt werden; es kann dann unter Dampfentwicklung den Sterrokristall sprengen und töten („Dekrepitationswasser“). Andere wasserhaltige Sterrokristalle sind so unbeständig, daß sie schon beim Liegen an der Luft ihr Wasser verlieren und in Pulver zerfallen; sie sterben durch „Verwitterung“ (wie organische Individuen durch „Verwesung“). In anderen Sterrokristallen ist das Wasser in bestimmtem Mengenverhältnis mit der mineralischen Substanz chemisch verbunden und zu ihrer individueller Existenz notwendig. Das „blaue Vitriol“ (Kupfersulfat) verwittert, wenn es seine unentbehrlichen fünf Moleküle Wasser verliert; es zerfällt dann in ein weißes Pulver; wenn dieses „tote“ (amorphe) Pulver aber in Wasser gelöst wird, kann die Substanz wieder fünf Moleküle Wasser aufnehmen und dann wieder neue blaue Individuen durch Kristallisation bilden. Zwischen dieser festen und jener lockeren Bindung des Kristallwassers existieren keine scharfen Grenzen.

Scheintod der Sterrokristalle.*) Wenn während des „lebendigen“ Kristallisations-Prozesses den wachsenden Individuen nicht genügend Nahrung („Mutterlauge“) zugeführt wird, hört das weitere Wachstum auf; sie verfallen in „Scheintod“; die aktuelle „lebendige Kraft“ geht in potentielle oder „latente Kraft“ über. In diesem Zustand kann der scheintote Sterrokristall lange Zeit, Jahrhunderte und Jahrtausende, verharren. Wird dann aber wieder neue Nahrung zugeführt, so kann das schlummernde Leben wieder erwachen und sein unterbrochenes Wachstum fortsetzen. Die Sterrokristalle verhalten sich in dieser Beziehung ganz wie niedere Or-

*) Scheintod. Vgl. Max Verworn, Allgemeine Physiologie, 6. Aufl., 1915, S. 151. Lebendige und leblose Organismen.

ganismen (Protisten: eingetrocknete Chromaceen und Bakterien, Algarien, Infusorien) — ja sogar höhere Pflanzen und Tiere (Samenkörner von Pflanzen, Rädertiere und Nematoden, Tardigraden usw.). — Auch diese Organismen können jahrelang im Scheintod bewegungslos (unter Stillstand des Stoffwechsels) verharren — eingetrocknet bei Wassermangel oder eingefroren im Eise —; sie erwachen zu neuem Leben, wenn ihnen Wasser zugeführt oder die gefrorenen Gewebe wieder aufgetaut werden. Hier zeigt sich ganz unzweideutig, daß das „Leben" — ebenso im organischen wie im anorganischen Körper — kein Produkt einer besonderen „Lebenskraft" ist, sondern ein physikalischer Prozeß, bei dem „Spannkraft" in „Triebkraft" sich verwandelt, potentielle in aktuelle Energie.

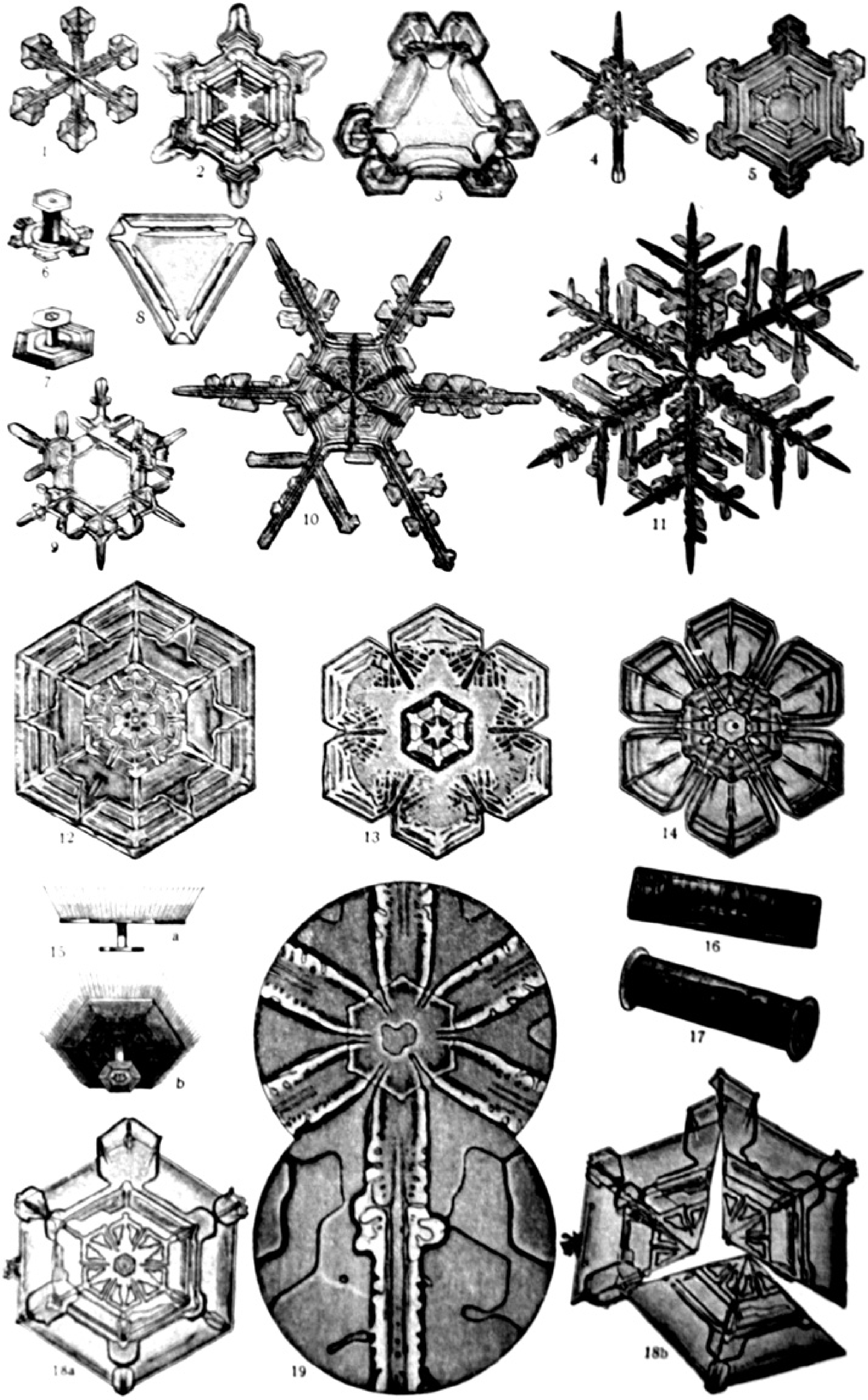
Arbeiten der Schneeseele. Das reine Wasser ist nicht nur für die verschiedensten Naturerscheinungen von höchster physikalischer Bedeutung — vor allem als die erste Bedingung für die Existenz und Entwicklung des organischen Lebens! — sondern es erregt auch unser lebhaftes morphologisches Interesse durch die beispiellose Mannigfaltigkeit der Formen, welche es als Sterrokristall beim Übergang aus dem flüssigen und gasförmigen in den festen Aggregatzustand annimmt. Vor allem ist es der Schnee, der durch seine zierlichen und höchst mannigfaltigen Kristallformen schon vor mehr als 200 Jahren die ältesten Mikroskopiker entzückte. Neuerdings sind über tausend verschiedene Formen der Schneekristalle unterschieden und photographiert worden. Die Gruppe von 20 Schneekristallen, welche hier (S. 15) zusammengestellt ist, bietet nur eine kleine Auswahl aus diesem märchenhaften Formenreichtum — um so merkwürdiger, als das Wasser eine der einfachsten chemischen Verbindungen darstellt und sein Molekül immer aus zwei Atomen Wasserstoff und einem Atom Sauerstoff sich zusammensetzt. Das Symmetriesystem, in dem die Sterrokristalle des Schnees sich konstant ausbilden, ist das hexagonale System, charakterisiert durch eine vertikale Hauptachse und drei gleiche horizontale Nebenachsen, welche in der Mitte der ersteren sich unter gleichen Winkeln von 60° schneiden. Je nachdem nun das Größenverhältnis dieser Symmetrieachsen wechselt und der periodisch wechselnde Ansatz der erstarrenden Wassermoleküle in Anpassung an die äußeren Existenzbedingungen (Temperatur, Luftdruck, Umgebung, Schnelligkeit des Wachstums usw.) geschieht, entwickeln sich bei dem Sublima-

tionsprozeß des atmosphärischen Wasserdampfes die mannigfaltigsten und zierlichsten Gestalten.

Die ideale Grundform des hexagonalen Kristallsystems ist die zwölfseitige Doppelpyramide, zusammengesetzt aus zwei gleichen, regelmäßig sechsseitigen Pyramiden, die mit ihren horizontalen Grundflächen in der Mitte der vertikalen Hauptachse zusammengefügt erscheinen. Diese ideale Symmetrieform ist als hohe Doppelpyramide in den Schneekristallen nur selten rein ausgebildet. Die große Mehrzahl derselben (über drei Viertel aller Schneefiguren) bilden flache T a f e l n oder regelmäßig sechseckige Scheiben, mit überwiegender Flächenentwicklung in der horizontalen Ebene der drei Nebenachsen, während die vertikale Hauptachse klein bleibt. Die weitaus häufigste Form ist der regulär sechsstrahlige Schneestern, bei welchem sechs gleiche Strahlen (einfach oder vielverzweigt) von einem gemeinsamen Mittelpunkt (dem ursprünglichen „Kristallkeim") ausgehen (Fig. 1, 11); er gleicht ganz den hexagonalen Biokristallen, wie sie in den Kiesel-Skeletten der Radiolarien und Diatomeen, wie in den Kieselnadeln vieler Spongien (Hexactinelliden), aber auch in vielen anderen organischen Bildungen sich entwickeln. Wenn das Wachstum mehr in der horizontalen Mittelebene als an den sechs Ecken überwiegt, entstehen flache Plättchen oder sechseckige Scheiben mit zierlicher Radialstruktur (Fig. 2, 9, 10, 13, 14). Bei halbzähliger Entwicklung (Hemiedrie) bilden sich regulär-dreieckige Scheiben (Fig. 3, 8).

Viel seltener überwiegt bei der Schneekristallisation das Wachstum der vertikalen Hauptachse; es entstehen schlanke S ä u l e n, entweder regulär-sechsseitige Prismen (mit ausgebildeten Kanten, Fig. 16) oder Zylinder (mit abgerundeten Kanten, Fig. 17). Durch Kombination von säulenförmigem und tafelförmigem Wachstum entstehen seltsame Formen, welche Manschettenknöpfchen gleichen (Fig. 6, 7, 15). Nicht selten finden sich in den Strahlen der Schneesterne (besonders bei Reif und Rauhreif) feine radiale Kanäle, die mit Luft, seltener mit Wasser gefüllt sind (Fig. 19). Wenn man die Schneekristalle zerbricht, springen sie entsprechend ihren Spaltungsflächen und zeigen deutlich die innere Struktur (Fig. 18a, 18b). Die seltsamen „Manschettenknöpfchen" gleichen vollkommen den C o c c o l i t h e n, welche als Biokristalle in der Kalkschale der Calcocyteen (Coccosphaeren und Rhabdosphaeren) auftreten.

Die endlose Mannigfaltigkeit in Größe und Form der Schneekristalle ist deshalb sehr lehrreich, weil sie zeigt, wie vielfach die



Tafel B Schneekristalle (Hexagonales System) (Arbeiten der Schneeseele).

spezielle Form der Kristalle von ihrer Anpassung an die äußeren Existenzbedingungen abhängt. Besonders einflußreich ist das Verhältnis des erstarrenden Wasserdampfes zu den verschiedenen Lösungsgenossen, die neben ihm in der atmosphärischen Luft vorhanden sind (Gase, andere Dämpfe, Staubteilchen usw.).

Kollokristalle (Quellungskristalle). Als eine besondere, in mehrfacher Beziehung interessante Ordnung von Kristallen können wir die gelatinösen Kollokristalle unterscheiden, welche von vielen chemischen Körpern aus der Gruppe der Eiweißverbindungen gebildet werden. Sie unterscheiden sich von den festen Sterrokristallen durch ihr eigentümliches Quellungs- oder Imbibitionsvermögen; sie besitzen zwar die symmetrisch-prismatische Form von echten starren Kristallen, sie können aber Wasser in beträchtlicher Menge aufnehmen, ohne diese zu verlieren, und ohne sich im Wasser zu lösen. Dabei vergrößern die individuellen Kollokristalle bedeutend ihr Volumen (bisweilen um mehr als das Doppelte); ihre Flächen und Kanten runden sich oft ab. Durch Gerinnung, durch Einwirkung von Alkohol, durch Eintrocknen können die Kollokristalle „denaturiert" oder „vergiftet" werden; sie behalten zwar ihre chemische Zusammensetzung, verlieren aber ihre Kristallisationskraft; sie „sterben" oder verwandeln sich in „Pseudokristalle".

In den Zellen der Pflanzen, besonders in den Samen, kommen Kollokristalle, meistens im hexagonalen System gebildet, sehr verbreitet vor; sowohl im Cytoplasma, als im Zellkern, aber auch innerhalb der Aleuronkörner und neben den Stärkekörnern, die selbst vielfach als „Sphärokristalle" betrachtet werden. Sehr wichtig sind die quellungsfähigen Eiweißkristalle im roten Blute der Wirbeltiere. Das Hämoglobin, das den Hauptbestandteil ihrer roten Blutzellen bildet und ihnen die rote Farbe verleiht, aber auch in den Muskeln und anderen Teilen vorkommt, kristallisiert meistens im rhombischen System, in Form von Prismen, Nadeln; ihre verschiedene Form und Löslichkeit ist zum Teil charakteristisch für die verschiedenen Säugetierarten. Beim Meerschweinchen kristallisiert das Hämoglobin in Tetraedern, beim Eichhörnchen im hexagonalen System. Da beide Nagetiere nahe verwandt und unzweifelhaft aus einer gemeinsamen Stammform phyletisch entstanden sind, so liegt hier eine phylogenetische Polymorphie vor. Indessen kommen auch bei ein und derselben Spezies, z. B. beim Menschen, verschiedene Kristallformen vor und können beim Um-

kristallisieren ineinander übergehen (Polymorphie). Aber auch in den Zytoden von Probionten (z. B. Tolypothrix) finden sich Kollokristalle, und zwar Würfel und Oktaeder des tesseralen Systems. (Vgl. unten Kap. II.)

Das physikalische Interesse der Kollokristalle beruht darauf, daß sie einen direkten Übergang von den kolloiden zu den kristalloiden Körpern bilden, den beiden Gruppen, in welche nach Graham die Lösungen fester Körper eingeteilt werden. Die homogenen Eiweißkörper können unter verschiedenen Bedingungen bald gelöst, bald kolloid (dünner oder dicker flüssig), bald auch als Sterrokristalle auftreten. Diese Albuminkristalle gehören meistens dem hexagonalen System an (wie auch die Schneekristalle). Sie besitzen außerdem auch in hohem Grade die Fähigkeit, fremde gelöste Körper der verschiedensten Art, Salze, Farbstoffe usw. in sich aufzunehmen, und bilden mit diesen selbst Mischkristalle; sie „essen und trinken", — wie sie auch (bei Denaturation) „sterben" und die Fähigkeit der Regeneration verlieren können. Die Kollokristalle gehen einerseits ohne scharfe Grenze in die festen Sterrokristalle, anderseits in die starren Biokristalle über, und endlich auch in die flüssigen Rheokristalle. Da die Eiweißkörper die wichtigsten „Lebensstoffe" sind und im Plasma als die aktiven „Lebensträger" gelten, liegt hier wieder ein direkter Übergang vom anorganischen zum organischen Leben vor. Zwischen beiden besteht keine scharfe Grenze.

Sphärokristalle (Kugelkristalle). Die verschiedensten Körper, sowohl organische als anorganische, können die Kugelgestalt annehmen, wenn sie aus dem flüssigen in den festen Zustand, unabhängig von äußeren Einflüssen, übergehen. Als eigentliche „sphärische Kristalle" oder Sphärolithen können diejenigen festen Kugeln bezeichnet werden, welche eine radial-faserige, und oft zugleich eine konzentrisch-schalige Struktur besitzen. Solche bildet das Wasser, wenn es in Form von Hagel oder Graupeln sehr rasch kristallisiert. Auch die sogenannten „Glasköpfe", Kugeln, welche bei übereilter Kristallisation flüssiger Glasmassen oder geschmolzenen Eisens und Mangans entstehen, — oder wenn gallertige Niederschläge sich in Kristalloide verwandeln — können dieselbe Struktur zeigen. Meistens werden diese „radial-gebauten Glaskugeln" als Aggregate von vielen kleinen stabförmigen Kriställchen betrachtet, die von einem gemeinsamen Mittelpunkt gegen die kugelrunde Oberfläche ausstrahlen. Wenn ihre äußeren Enden

über dieselben hervortreten, entstehen stachelige Kugeln, die Maulbeeren und Brombeeren ähnlich sind (auch der Morula der Metazoenkeime). Solche Kieselkugeln finden sich massenhaft als „Sphärische Biokristalle“ im Gewebe der Astrophoren, einer Gruppe der Kieselschwämme (Stelletta, Geodia). Ähnliche sternförmige Spicula aus kohlensaurem Kalk finden sich skelettbildend im Mantel vieler Synascidien, insbesondere Didemneen.*) Auch flüssige Kristalle besitzen oft solche „Sphärolith“-Formen, Aggregate von vielen gleichgerichteten kleinen kugeligen „Kristalltropfen“, die im polarisierten Licht zwischen gekreuzten Nicols das dunkle Kreuz — alle in gleicher Richtung — zeigen, so das Cholesterin-Propionat (Titelbild, Fig. 6). Während hier jede Kugel des sphärischen Aggregats ein flüssiges „Kristallindividuum“ in Tropfenform darstellt, können sich solche homogene Tropfen bei anderen Rheokristallen in Bläschen verwandeln, indem die Moleküle der Oberfläche sich dichter zusammendrängen und eine „feste“ Membran bilden. Der flüssige Inhalt dieser hohlen Sphärokristalle kann aber auch im Zentrum sich verdichten; so entstehen kugelige Bläschen, die einer echten kernhaltigen Zelle gleichen (Titelbild, Fig. 6). Je nachdem im Inhalte der Sphärokristalle die Oberflächenenergie der „Membran“ (welche später durch äußere Verdickung in konzentrische Schalen gesondert werden kann) überwiegt, — oder die zentripetale Energie der Radialstäbchen, entstehen verschiedene Modifikationen der Kugelkristalle. Wenn in einem Durchmesser das Wachstum stärker wird, verwandelt sich die Kugel in das Rotationsellipsoid, eine monaxone Kristallform.

Zwischen diesen sphärischen Rheokristallen und den festen kugeligen Sterrokristallen ist keine scharfe Grenze zu ziehen. Auch ist oft schwer zu entscheiden, ob der „Sphärolith“ als Monokristall (Individuum) oder als Coenokristall (Aggregat) zu beurteilen ist.

Amylumkristalle. Als echte Sphärokristalle werden von vielen Botanikern auch die Stärkemehlkörner betrachtet, welche von den meisten Pflanzen innerhalb der Zellen von den Chloroplasten gebildet werden. Oft sind diese abgerundeten Körner vollkommen kugelig und aus konzentrischen Schichten gebildet, die von ra-

*) Sternförmige Sphärokristalle aus Calcit, die ursprünglich im Mantel von Ascidien gebildet wurden, können nach dem Tode sich massenhaft auf dem Meeresboden anhäufen und von da in den Körper von Spongien und anderen Seetieren gelangen. Vgl. meine Monographie der Kalkschwämme, 1872, Bd. I, S. 172.

dialen, vom Mittelpunkt ausgehenden Fasern durchsetzt werden, so z. B. bei Bohnen und anderen Leguminosen (Fig. 5). Gewöhnlich aber ist die Form nicht völlig sphärisch, sondern linsenförmig, scheibenförmig abgeplattet oder ellipsoid, oder unregelmäßig rundlich; die Strahlen gehen dann nicht vom Mittelpunkt, sondern von einem exzentrischen Punkte aus. In polarisiertem Licht erscheinen die Stärkekörner doppelbrechend und zeigen das charakteristische Farbenkreuz wie echte Kristalle (Titelbild, Fig. 8 u. 9). Sie können paarweise verwachsen, gleich flüssigen „Zwillingskristallen", und können in größerer Zahl zu Aggregaten sich vereinigen.

Biokristalle. Die merkwürdige Ordnung von kristallartigen Körpern, welche ich (1872) als „Biokristalle" unterschieden habe, ist von großer Bedeutung sowohl für die Promorphologie als für die Physiologie. Sie gleichen den Sterrokristallen in ihrem festen Aggregatzustande und der Regelmäßigkeit oder Symmetrie ihrer Gestalt, welche eine genaue geometrische Bestimmung und eine exakte Zurückführung auf eine mathematische Grundform erlaubt. Sie unterscheiden sich aber von den echten Sterrokristallen, deren Form lediglich durch die chemische Komposition ihrer homogenen Masse bestimmt wird, dadurch, daß ihre Gestalt durch die vereinigte Arbeit der anorganischen Mineralsubstanz (Kiesel, Kalk usw.) und des organischen Plasma produziert wird. Diese Differenz ist deshalb theoretisch wichtig, weil für die Gestaltungskraft des organischen Komponenten die höchst komplizierten Prozesse der Vererbung, nebst ihrer langen historischen Vergangenheit, in Betracht zu ziehen sind; bei dem anorganischen Komponenten, dem mineralischen skelettbildenden Stoff (Silizium, Kalzium, Strontium) ist das nicht der Fall; es herrschen hier viel einfachere, rein physikalische Verhältnisse. Daher sind auch die Molekularbewegungen bei der Biokristallisation viel verwickelter und schwieriger zu ermitteln als bei der einfachen Sterrokristallisation. Als zwei verschiedene Stufen der ersteren können wir die Entwicklungsvorgänge bei den einzelligen Protisten und bei den vielzelligen, gewebebildenden Histonen unterscheiden.

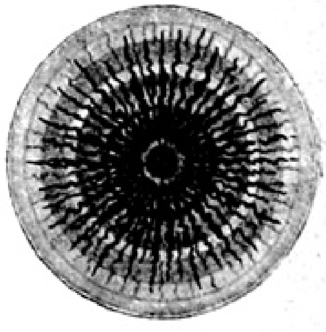


Fig. 5. **Sphärokristall von Amylum,** aus einer Bohne. **Das kugelige Stärkekorn (hier ganz regelmäßig, meistens aber unregelmäßig rund) ist aus vielen konzentrischen Schichten aufgebaut und radial zerklüftet. (Ähnlich den Otolithen oder Statolithen vieler Tiere.)**

Biokristalle der Protisten. Die mannigfachen kristallähnlichen Bildungen der einzelligen Protisten schließen sich an die geometrisch bestimmten Formen der Sterrokristalle insofern unmittelbar an, als hier wie dort das einzelne Individuum — also ein Singulat der sich selbstgestaltenden homogenen Substanz — die Richtung der Molethynen bestimmt. Die gesetzmäßige Anordnung der fest werdenden Moleküle in geometrisch bestimmbaren Achsen und Flächen ist durch die individuelle Lebenstätigkeit des organischen Singulats unmittelbar bedingt. Das gilt ebenso von den plasmodomen Protophyten wie von den plasmophagen Protozoen. In beiden Protistengruppen ist es vor allem das Silizium, der Kieselstoff, welcher vermöge seiner wunderbaren Plastizität und feinen Modellierbarkeit eine unvergleichliche Fülle der zierlichsten Formen produziert; so bei den Diatomeen und den Radiolarien. Die interessanten Beziehungen dieser beiden Protistenklassen, sowohl in rein morphologischer und tektonischer, als in physiologischer und psychologischer Hinsicht, verdienen noch eine eingehende mathematisch-physikalische Analyse. Viel weniger als das feine Silizium vermag das gröbere Kalzium, besonders der kohlensaure und oxalsaure Kalk, kristallinische Skelettbildungen von selbständigen Protisten zu erzeugen. Die „Elementarseele" des Silizium beruht offenbar auf einer viel feineren atomistischen Struktur und besitzt viel höhere Plastizität, als die des Kalzium. Doch sind auch hier die mannigfaltigen Formen der Kalkschalen von promorphologischem und systematischem Interesse, so unter den Protophyten bei den kalkschaligen Algarien (Calcocyteen und Siphoneen); unter den Protozoen bei den vielgestaltigen Thalamophoren (Monothalamien und Polythalamien). Da die Psychomatik der Protisten gerade mit Beziehung auf die Biokristallisation von ganz besonderem Interesse ist, wird sie im dritten Kapitel eingehend behandelt werden.

Biokristalle der Histonen (Metaphyten und Metazoen). Feste Kristallindividuen von mannigfaltiger starrer Form, zum großen Teil auf die geometrisch regelmäßigen Formen der anorganischen Sterrokristalle zurückzuführen, spielen in den Skelettbildungen der Histonen, der gewebebildenden, vielzelligen Pflanzen und Tiere, eine bedeutende Rolle. Hier ist aber nicht, wie bei den Biokristallen der Protisten, das Individuum des selbständigen einzelligen Bionten der schaffende Produzent, sondern das Gewebe, das aus vielen gesellig verbundenen Zellen sich zusammensetzt. Auch

hier in den Geweben entstehen die festen Biokristalle durch die gemeinsame plastische Arbeit des lebendigen Plasma und der gelösten Mineralsubstanz, die mit diesem verbunden ist, besonders Kieselstoff und oxalsaurem oder kohlensaurem Kalk. Meistens werden die Biokristalle der Histonen innerhalb der Gewebzellen abgeschieden, oft aber auch zwischen denselben in der Interzellularsubstanz. Sie spielen eine bedeutende physiologische Rolle, indem sie den weichen Geweben Schutz und Stütze verleihen.

Unter den Metaphyten, den Gewebpflanzen, ist namentlich das primäre Grundgewebe (oder Füllgewebe), welches bei den niederen Thallophyten allein den ganzen Körper aufbaut, vielfach Sitz von Kristallbildungen. Bald sind es große Einzelkristalle, die dem tetragonalen und monosymmetrischen Kristallsystem angehören, bald zahlreiche kleine Kristalle, die als feiner „Kristallsand" die Zellen erfüllen. Nadelförmige Biokristalle von oxalsaurem Kalk liegen oft, parallel zu Bündeln vereinigt, in einer langen, mit Gummischleim erfüllten Vacuole innerhalb einer langgestreckten Zelle (besonders bei Monocotylen). Oft bilden sich „morgensternförmige" Kristalldrusen, aus vielen nadelförmigen Kristallen zusammengesetzt, die von einem organischen Kern ausstrahlen. Im Cytoplasma vieler Zellen von Palmen und Orchideen entstehen vielgestaltige Kieselkörper, die den größten Teil des Zellenraumes ausfüllen.

Im gestaltenreichen Körper der vielzelligen Gewebtiere, der Metazoen, spielt die Biokristallisation eine viel größere Rolle; denn die meisten Skelettbildungen ihrer divergenten Stämme entstehen durch die kombinierte Arbeit des organischen Plasma und der anorganischen Mineralsubstanz, vor allem des Kalzium; bei den wirbellosen Tieren (Korallen, Mollusken, Echinodermen) überwiegt der kohlensaure, bei den Wirbeltieren der phosphorsaure Kalk. Der histologische Aufbau und die feinere Struktur dieser Kalkskelette zeigt in den einzelnen Stämmen der Metazoen charakteristische Verschiedenheiten. Auf der tiefsten Stufe stehen die Spongien, die außer dem Kalk auch Kieselstoff benutzen. Die Biokristalle der Spongien, sowohl die Kalkspikula der Calcispongien, als die Kieselspikula der Silicispongien, zeigen zum großen Teil streng geometrische Symmetrie. Ihre regelmäßigen Formen entsprechen bestimmten Symmetrieklassen der Sterrokristalle. Sie enthalten aber einen plasmatischen Achsenfaden in ihren Achsen, um den die gelöste Mineralsubstanz schichtenweise abgelagert

wird. Die starren, geometrisch bestimmten Kieselskelette vieler Kieselschwämme, besonders der sechsstrahligen (Hexactinellen), zeigen diese Tendenz zur Biokristallisation nicht allein in der regelmäßigen Kristallform ihrer individuellen Skelettstücke (Spikula), sondern auch in der regulären Gitterstruktur ihrer Organe, in der Anordnung ihrer Geißelkammern und im Aufbau ihrer Wände. Wegen ihrer besonderen psychomatischen Bedeutung ist unten das vierte Kapitel zu vergleichen. (Fig. 58—62.)

Rheokristalle (flüssige oder fließende Kristalle). Die Entdeckung dieser höchst merkwürdigen Körper, die unmittelbar die letzte Scheidewand zwischen lebloser (anorganischer) und lebendiger (organischer) Natur aufheben, ist die Frucht dreißigjähriger beharrlicher Arbeit von Otto Lehmann in Karlsruhe. Ihr Nachweis gelang durch ausdauernde, sinnreiche Versuche, die mittels eines heizbaren „Kristallisations-Mikroskopes" und Anwendung eines besonderen Polarisations-Apparates angestellt wurden.*)

Die Geschichte seiner epochemachenden Entdeckung, die Otto Lehmann in dem unten erwähnten Buche (1911) selbst erzählt, ist sehr lehrreich für die Beurteilung der Hindernisse, welche der Anerkennung und Verbreitung tiefgreifender Neuerungen von seiten der dogmatischen Tradition in den Weg gelegt werden. Volle dreißig Jahre haben die „flüssigen, scheinbar lebenden Kristalle" gebraucht, ehe sie allgemein die gebührende Beachtung der zunächst interessierten „Fachmänner", der Physiker, Chemiker und Mineralogen, und Eingang in die Lehrbücher fanden; selbst heute noch werden sie von einigen namhaften Physikern ignoriert. Die Macht der konservativen Tradition, die jedem lichtbringenden Fortschritt sich entgegenstemmt, ist in der „exakten" Naturwissenschaft nicht geringer, als in den praktischen Gebieten der Ethik,

---

*) Ein Verzeichnis der zahlreichen Schriften, die Otto Lehmann in den Jahren 1885—1914 über diese Objekte veröffentlicht hat, findet sich in Fricks' Physikalischer Technik, 7. Aufl., Bd. II, Abtl. 2, S. 2067—2072. Seine ausführlichste Darstellung ist betitelt: „Flüssige Kristalle sowie Plastizität von Kristallen im allgemeinen; Molekulare Umlagerungen und Aggregat-Zustands-Änderungen" (Leipzig 1904). Die beste und übersichtliche allgemeine Darstellung gibt der Vortrag, den Lehmann 1906 auf der 78. Versammlung deutscher Naturforscher in Stuttgart gehalten hat: „Flüssige Kristalle und die Theorien des Lebens" (Leipzig 1906). Eingehender hat er die bedeutungsvollen Ergebnisse seiner Arbeiten zusammengefaßt in dem Buche: „Die neue Welt der flüssigen Kristalle und deren Bedeutung für Physik, Chemie, Technik und Biologie" (mit 246 Abbildungen) (Leipzig 1911).

Politik, Religion usw. Der Grundgedanke der Abstammungslehre von Lamarck (1809) brauchte volle fünfzig Jahre, ehe er durch Darwin (1859) endlich die verdiente Anerkennung fand. Mein Biogenetisches Grundgesetz, das auf dieser Deszendenztheorie ruht, ebenso die damit zusammenhängenden Thesen meiner Generellen Morphologie (1866), und noch mehr die weiteren, daraus folgenden philosophischen Schlüsse meines „Monismus" (1892) müssen noch heute einen harten „Kampf ums Dasein" bestehen. Gerade der Wunsch, ihnen durch die Rheokristalle und deren Verknüpfung mit den Probionten eine neue Hilfstruppe zuzuführen, ist für mich ein Hauptmotiv zur Publikation dieser „Fragmente".

Erklärung des Titelbildes:

„Flüssige Kristalle".

Nach Professor Otto Lehmann (Karlsruhe).

Das farbige Titelbild ist bestimmt, einige der wichtigsten optischen Eigenschaften, welche die „Lebenden Kristalle" oder „Rheokristalle" bei Anwendung des polarisierten Lichtes unter dem Kristallisations-Mikroskop darbieten, unmittelbar anschaulich zu zeigen. Die farbigen Figuren sind von dem Entdecker Professor Otto Lehmann selbst naturgetreu gemalt und zur Illustration dem Artikel „Flüssige Kristalle" beigegeben, in welchem derselbe kurz das Wichtigste über seine bedeutungsvolle Entdeckung für Meyers großes Konversationslexikon zusammengestellt hat (VI. Auflage, 1905, Band 11, Seite 708). Das Bibliographische Institut in Leipzig, welches auch meine „Kunstformen der Natur" herausgegeben hat, gestattete gütigst hier die Aufnahme dieser farbigen Tafel, ebenso wie der nachstehend benutzten Figuren von Radiolarien und Diatomeen aus letzterwähntem Werke; dies enthält auch die eingehende Erklärung derselben.

Fig. 1. Spindelkristalle von Azoxy-Benzoesäure-Ester. Die einachsigen „fließenden Kristalle" zeigen teils gerade, gestreckte, zylindrische oder fusiforme Gestalt; teils sind sie gegliederte oder perlschnurförmige Ketten, teils myelinartige Tropfen.

Fig. 2. Kopulation von zwei lebenden Spindelkristallen von ölsaurem Ammoniak (einer Art Schmierseife). Wenn zwei solche spindelförmige „flüssige Kristalle" zufällig in Berührung kommen, legen sie sich der Länge nach aneinander und fließen vollständig zusammen; rechts die neu entstandene „Doppelpyramide".

Fig. 3. Ein weicher Spindelkristall von ölsaurem Ammoniak, zylindrisch, an beiden Polen der Achse kegelförmig zugespitzt; die Kanten und Ecken der Doppelpyramide sind durch Oberflächenspannung abgerundet.

Fig. 4. Ein weicher Zwillingskristall von Cholesteryl-Benzoat. Die beiden verwachsenen eiförmigen Rheokristalle zeigen zwischen gekreuzten Nicols verschiedene Farben, entsprechend ihren verschiedenen Lagen.

Fig. 5. Ein weicher Drillingskristall von Cholesteryl-Benzoat. Die drei verwachsenen Rheokristalle zeigen ebenfalls verschiedene Farben, wie in Fig. 4.

Fig. 6—28. Weiche kugelförmige Kristalle von Para-Azoxy-Anisol, bei verschiedener Beleuchtung in polarisiertem Licht.

Fig. 6. Sphärokristall mit zentralem Kern, einer verdichteten Schliere (in der ersten Hauptlage). Ähnlich einer „künstlichen Zelle".

Fig. 7. Viele kernhaltige Sphärokristalle in der Flüssigkeit nebeneinander, fließen zum Teil zusammen.

Fig. 8. Molekularstruktur desselben Sphärokristalls. Die spindelförmigen Moleküle erscheinen in konzentrischen Schichten um den zentralen Kern geordnet (in der ersten Hauptlage).

Fig. 9 u. 10. Der Sphärokristall (Fig. 6, 7) in polarisiertem Licht, in der ersten Hauptlage (wenn die Kristallachse in der Sehrichtung liegt).

Fig. 11 u. 12. Derselbe Sphärokristall bei Anwendung von gekreuzten Nicols; infolge von Drehung der Polarisationsebene erscheint ein farbiges Kreuz.

Fig. 13—18. Dieselben Sphärokristalle in der zweiten Hauptlage (wenn die Symmetrieachse des Kristalls senkrecht zur Sehrichtung steht). Fig. 13. Molekularstruktur (vgl. Fig. 6); Fig. 14. Mit spindelförmiger Schliere; Fig. 15. Unter starkem Druck zusammengepreßt, mit zwei Polen; Fig. 16 u. 17. Zwischen gekreuzten Nicols; Fig. 18. Gepreßt, zwischen halb gekreuzten Nicols.

Fig. 19 u. 20. Spiraldrehung des Kristallkerns infolge von Erwärmung; der Sphärokristall beginnt sich rotierend zu bewegen und die spindelförmige Schliere (Fig. 14, 15) dreht sich dabei S-förmig oder spiralig.

Fig. 21. Pfeilrichtung des Kristallkerns im Magnetfelde. Beim Magnetisieren des Kristallkerns stellen sich die Moleküle, welche von der Oberfläche und der Symmetrieachse entfernter sind, so ein, daß die eine Auslöschungsrichtung mit den Kraftlinien zusammenfällt (in der zweiten Hauptlage).

Fig. 22. Kopulation von zwei Sphärokristallen in der ersten Hauptlage. Ehe die beiden runden Kernpunkte der zusammengeflossenen Sphärokristalle sich berühren und verschmelzen, tritt zwischen beiden eine viereckige Schliere auf; dieser Konvergenzpunkt bezeichnet die Grenzlinie der beiden verwachsenden Tropfen.

Fig. 23, 24 u. 25. Aggregate von zusammenfließenden kernhaltigen Sphärokristallen, mit den Grenzlinien der paarweise verschmelzenden kugeligen Tropfen (Fig. 22); Fig. 24 in polarisiertem Licht; Fig. 25 zwischen gekreuzten Nicols, mit keilförmigen Massen.

Fig. 26 u. 27. Verzerrung der Kerne und Konvergenzpunkte (Fig. 22) durch Mischung von flüssiger und fließender Kristallmasse (Fig. 26 in natürlichem Licht, Fig. 27 in polarisiertem Licht). Wenn ein Aggregat von zusammenfließenden kugeligen Rheokristallen (Fig. 23, 24) in Strömung versetzt wird, entstehen Bänder, welche die isotropen und anisotropen Teile trennen.

Fig. 28. Kugelförmige Schichtkristalle mit lamellöser Struktur, durch Mischung von flüssigen und fließenden Rheokristallen entstanden; die fließenden Schichtkristalle kopulieren oft und zeigen eine feine Schraffierung, ähnlich der Trichitenbildung fester Kristalle.

Substanz der Rheokristalle. Die chemische Zusammensetzung der Stoffe, welche die „flüssige Kristallform" annehmen, ist neuerdings von Lehmann, Reinitzer, Vorländer, Schenck und anderen Chemikern sehr genau untersucht worden. Die große Mehrzahl dieser Substanzen (von denen schon über hundert verschiedene Modifikationen bekannt sind), besteht aus organischen Kohlenstoff-Verbindungen, teils mit, teils ohne Stickstoff. Aber auch mehrere anorganische Verbindungen bilden „zähflüssige Kristalle", so Ammonium-Nitrat und Jodsilber. Entsprechend ihrer verschiedenen Konsistenz kann man nach Lehmann unter den organischen Rheokristallen schleimig-flüssige und tropfbar-flüssige unterscheiden. Unter den schleimig-flüssigen sind besonders wichtig die Fettsäure-Verbindungen (Oleate der Alkalien und des Ammoniaks), die Cholesterin-Verbindungen (Cholesteryl-Benzoat, -Caprinat, -Glyzerin u. a.) und die Lecithinkörper (Cholin, Cholin-Oleate u. a.); aber auch Phosphatide und Galaktoide (Phrenosin, Kerasin, Protagon) und ähnliche, im Protaplasma vorkommende Substanzen bilden „lebende Kristalle", — ferner Sulfosäuren (mit Brom und Chlor verbunden) und die Paraazoxyester. Zu den tropfbar-flüssigen Rheokristallen gehören Hydrate von Sulfosäuren, Paranisol-Verbindungen und Paraazoxy-Phenoläther usw. Es sind also viele verschiedene, zum Teil sehr kompliziert gebaute Kohlenstoff-Verbindungen, welche in ähnlichen Formen als „flüssige Kristalle" auftreten.

Aggregatzustand. Die auffallendste Eigenschaft der Rheokristalle, welche sie unmittelbar von den festen Sterrokristallen unterscheidet, ist ihre weiche oder „festflüssige" Beschaffenheit. Diese verschiedene Dichtigkeit, bedingt durch die „innere Reibung" der zusammensetzenden Moleküle, zeigt sowohl bei der Vergleichung der verschiedenen Arten, wie bei der individuellen Entwicklung einer und derselben Art, alle Abstufungen zwischen flüssigem und festem Aggregatzustand. Einerseits geht der dünnflüssige, tropfbare Zustand durch den leichtflüssigen in den zähflüssigen oder viskosen, anderseits dieser in den halbfesten und zuletzt in den festen Zustand über. Eine scharfe Grenze zwischen diesen verschiedenen Phasen ist bei den Rheokristallen ebensowenig vorhanden, wie bei erkaltender Leimlösung oder bei dem festflüssigen Plasma der organischen Zellen. Der verschiedene Grad der „Flüssigkeit" ist abhängig von der Temperatur, dem Druck und anderen Bedingungen der Außenwelt. Daß aber trotzdem die

Rheokristalle nicht amorph sind, ergibt sich aus ihrer optischen Anisotropie und der inneren Molekularstruktur ihres chemisch-homogenen Körpers.

Molekularbau. Von entscheidender Bedeutung für die kristallinische Natur der Rheokristalle ist weder ihr Aggregatzustand, noch ihre äußere Gestalt, sondern vielmehr ihre innere Molekularstruktur, die gesetzmäßige Anordnung der unsichtbaren Moleküle, aus denen ihr homogener Körper sich aufbaut. Dieser physikalische Aufbau ist anisotrop, wie bei den Sterrokristallen und Kollokristallen; d. h. die gleichartigen kleinsten Teilchen sind in bestimmter Richtung so geordnet, daß der Kristall nach verschiedenen Richtungen des Raumes hin verschiedene Eigenschaften zeigt. Am auffallendsten zeigt sich diese Anisotropie im Verhalten gegen polarisiertes Licht. Die dann vorhandene Doppelbrechung wird sehr klar illustriert durch die verschiedene Färbung und Formung, welche ein und derselbe flüssige Sphärokristall bei Drehung der Polarisationsebene zeigt, in Fig. 6—22 unseres Titelbildes (Erklärung S. 24). Der Kristall zerlegt den eintretenden Lichtstrahl in zwei divergente Strahlen, deren Verschiedenheit bedingt ist durch die verschiedenen Richtungen der Dielektrizitäts-Konstante. Dadurch unterscheidet sich die „kristallinische Flüssigkeit“ unserer Rheokristalle scharf von der einfachen amorphen Flüssigkeit des Wassers, des Alkohols, des Öls usw. Diese amorphen Körper (auch die festen: Harz, Pech, Glas usw.) sind isotrop; sie können den eintretenden Lichtstrahl nicht zerlegen, weil ihre Moleküle nach allen Richtungen des Raumes sich gleichmäßig verhalten. Indessen ist auch hier — wie überall in der Natur — keine scharfe Grenze zu ziehen; immer gibt es Übergänge, welche die extremen Gegensätze vermitteln. „Natura non facit saltus“!

Lebenserscheinungen der Rheokristalle. Um ein richtiges Verständnis der „lebenden Kristalle“ zu gewinnen, ist es wichtig, sie unbefangen und kritisch einerseits mit den starren mineralischen Kristallen (Sterrokristallen), anderseits mit den einfachsten heute noch lebenden Organismen (Probionten, Moneren) zu vergleichen. Eine solche unbefangene kritische Vergleichung (welche einerseits vielen Mineralogen und Physikern, anderseits vielen Biologen und Philosophen Bedenken erregen wird!) hat neuerdings Walter Hirt in seiner gedankenreichen Skizze über „Das Leben der anorganischen Welt“ (München 1914) versucht. Sie ergänzt und berichtigt

die ähnlichen Gedankengänge, die ich bereits 1866 in der „Generellen Morphologie“ und 1904 in den „Lebenswundern“ angeregt hatte. Indem ich mich auf diese ausführlichen Betrachtungen, und zugleich auf meine „Gott-Natur“ (1914) beziehe, beschränke ich mich hier darauf, in knappster Form diejenigen Erscheinungen im Reiche der „scheinbar lebenden Kristalle“ aufzuführen, welche unmittelbar zum Vergleich mit den vitalen Funktionen der Organismen herausfordern. Das Nähere und die anschauliche Erläuterung dieser physikalischen „Lebenswunder“, insbesondere die Begründung ihrer Erklärung durch die Molekularphysik, ist in den angeführten Werken von Otto Lehmann selbst zu finden.

Wachstum (Crescentia). Die wichtigste Lebenstätigkeit der Rheokristalle, die sie einerseits mit allen übrigen Kristallen, ander-



Fig. 6. **Einachsige Spindelkristalle**
von Ammonium-Oleat (einer Art Schmierseife), bei zufälliger Berührung (*a*) verwachsend (*b* und *d*) und zuletzt eine einfache Spindel bildend (*e*).

seits mit allen Organismen teilen, ist ihr Wachstum, d. h. die Fähigkeit des Individuums, sich zu vergrößern, indem es gleichartige Teilchen aus der umgebenden Flüssigkeit an sich zieht. Dabei ordnen sich die neu zutretenden Moleküle nach demselben Richtungsgesetze (der Moletropie), welches bereits in der gesetzmäßigen Ordnung der Richtkräfte (Molethynen) in dem anziehenden Individuum besteht. Während nun die Sterrokristalle gewöhnlich nur durch Apposition wachsen, die organischen Zellen durch Intussuszeption, kann bei den Rheokristallen beides stattfinden. Wie Lehmann fand, vollzieht sich das Wachstum vieler Rheokristalle in der Weise, „daß die neu hinzukommenden Moleküle infolge der Adsorptionskraft sich zwischen die vorhandenen hineinschieben und dieselben auseinanderdrängen,“ d. h. durch

eine Art Innenaufnahme, während ein gewöhnlicher (starrer) Kristall durch Apposition sich vergrößert, durch Anlagerung neuer Teilchen an der Oberfläche.

Ernährung. Um zu wachsen, muß dem Rheokristall flüssiges Nahrungsmaterial zugeführt werden. Er kann aber auch direkt „fressen". Wenn zwei polymorphe Modifikationen ein und derselben rheokristallinischen Substanz, eine schwerer lösliche, stabile und eine leichter lösliche, labile Form, in einer Flüssigkeit gemischt sind und nebeneinander auskristallisieren, so zehrt die erstere die letztere allmählich auf; die stärkere stabile Form „frißt" die labile

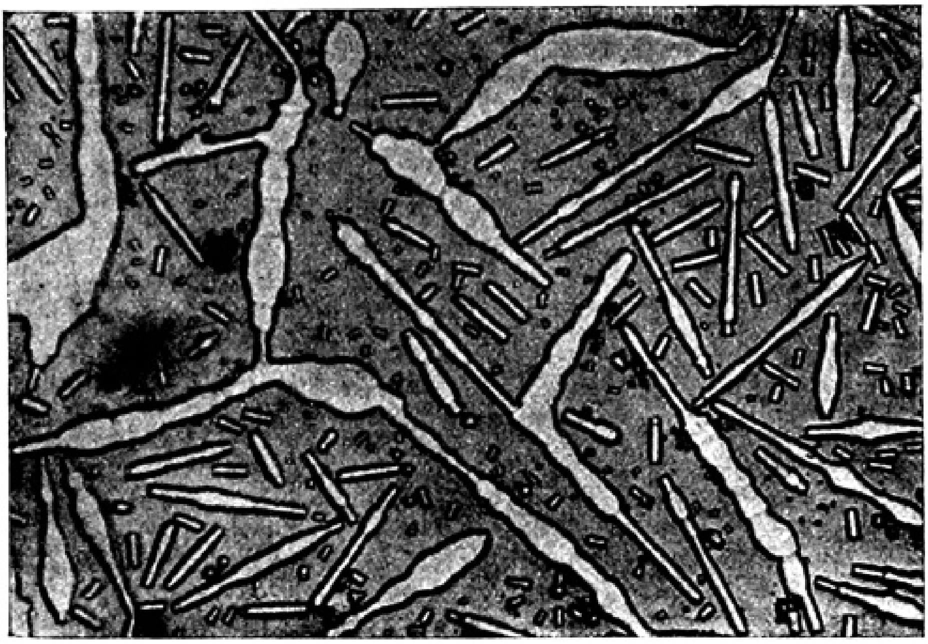


Fig. 7. **Einachsige Zylinderkristalle in Myelinformen** („flüssige Kristalle mit scharfkantigen ebenen Endflächen", — von Paraazo-Oxybrom-Zimtsäure-Äthylester — lebhaft zusammenfließend!) (nach Photographie von Vorländer).

und wächst auf deren Kosten. Auch wenn zwei Rheokristalle von gleicher Molekularstruktur, aber von verschiedener Größe sich zufällig berühren, kann der größere stärkere den kleineren schwächeren unmittelbar „auffressen" und sich einverleiben.

Kopulation. Bei vielen Rheokristallen fließen zwei Individuen zusammen, sobald sie miteinander in Berührung kommen; das Doppelindividuum nimmt sofort wieder die Form der beiden Paarlinge (Gameten) an. Das gilt sowohl von festeren, einachsigen, spindelförmigen Kristallen, als von weicheren, die infolge stärkerer Oberflächenspannung die Kugelform annehmen. (Vgl. Fig. 6 und das Titelbild, Fig. 1, 7, 23, 24; Seite 24.)

Hybridismus. Auch Rheokristalle, welche verschiedenen chemischen Substanzen, aber demselben Kristallsystem angehören, können sich miteinander verbinden. Sie bilden **Mischkristalle**, welche geradezu als anorganische **Bastarde** betrachtet werden können. Wenn die beiden Komponenten von verschiedener Farbe sind und die Schichten in bestimmter Reihe miteinander abwechseln, kann man den Anteil der beiden Hybrideneltern oft deutlich nachweisen, bisweilen auch an der Form.

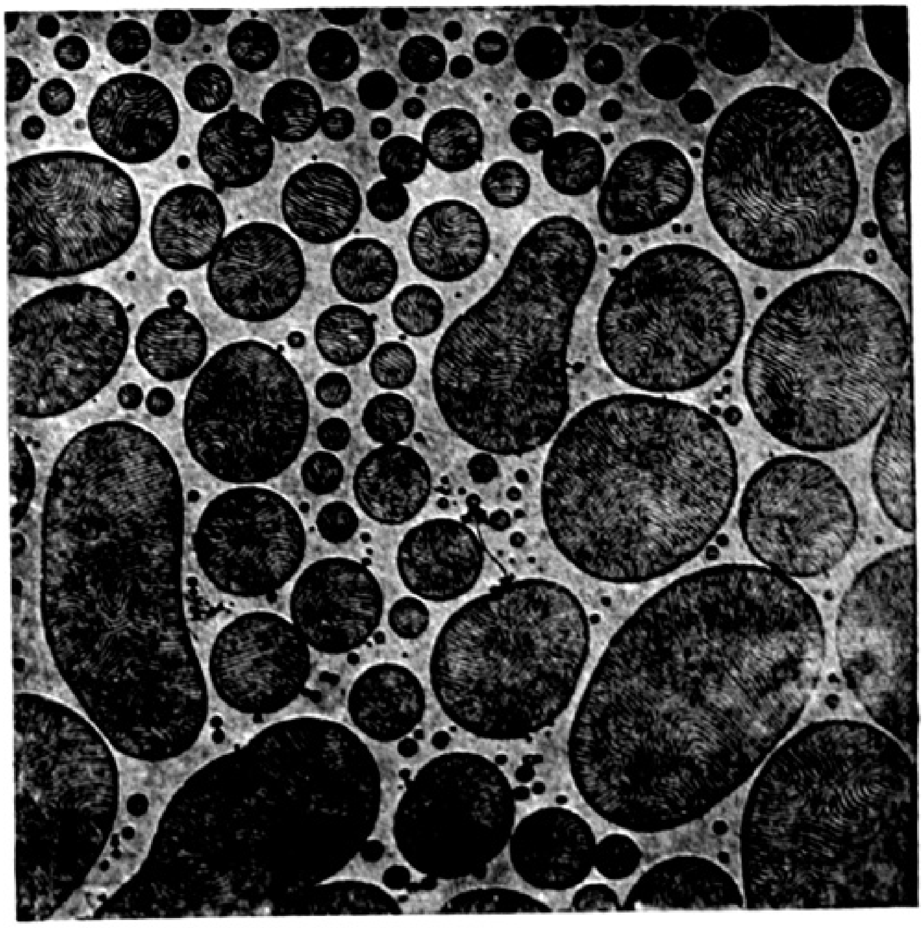


Fig. 8. **Flüssige Mischkristalle,**
entstanden durch mechanische Mischung von zwei verschiedenen Myelinsubstanzen: Kreuzung oder „Bastardbildung" von Rheokristallen. Molekularstruktur deutlich geschichtet.

Differenzierung. Sehr interessant sind die inneren Strukturveränderungen, welche bei vielen Rheokristallen, besonders bei den hybriden Mischkristallen, in der ursprünglich homogenen Substanz auftreten, und welche direkt der Plasmadifferenzierung in echten organischen Zellen verglichen werden können. An der Oberfläche führen sie zur Bildung einer Membran, im Zentrum zur Entstehung eines kernartigen Gebildes.

Membranation. Bei vielen Rheokristallen erscheint die Oberfläche von einer dünnen Membran überzogen, die bedeutend fester ist als die innere flüssige Masse. Diese Hautbildung ist die Folge der allgemeinen Oberflächenspannung oder Fazialtension, die überall an den Grenzflächen zweier Stoffe auftritt, welche sich berühren und nicht mischen. Die Regentropfen in der Luft, die Öltropfen in verdünntem Alkohol von gleichem spezifischen Gewicht usw. verdanken dieser Fazialspannung ihre Kugelform. Auf die-

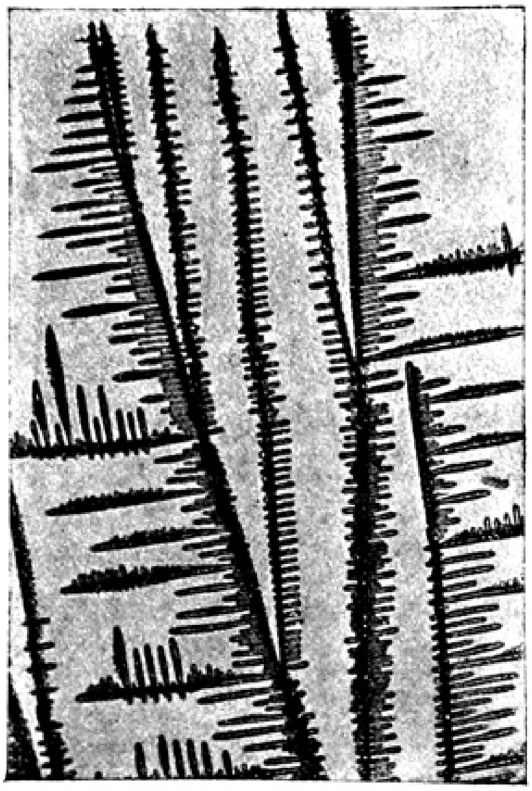


Fig. 9. Kristallskelett von Salmiak.
Pappelallee ähnlich („Tannenbaumfiguren").



Fig. 11. Vergifteter Kristall von Mekonsäure,
durch Anilin violett dunkel gefärbt, in knorrige Strahlen ausgewachsen.

selbe, rein physikalische Erscheinung, ist aber auch die erste Membranbildung der organischen Zellen zurückzuführen; später wird sie hier durch mannigfache Differenzierung ein physiologisches Organell von hohem Werte. Die allgemeine „Hautbildung in der anorganischen Welt" hat Walter Hirt im zweiten Kapitel seines „Leben der anorganischen Welt" eingehend erörtert (1914).

Stoffwechsel. Der festflüssige Aggregatzustand der Rheokristalle ermöglicht denselben ebenso einen Stoffwechsel (Assimilation und Dissimilation), wie dem lebendigen Plasma der Organis-

men. Walter Hirt hat in seinem „Leben der anorganischen Welt" eingehend dargelegt, wie namentlich die Vorgänge der **Atmung** — Aufnahme und Abgabe von gasförmigen Bestandteilen — bei dem Anorganen weit verbreitet und wie sie von der Temperatur abhängig sind. Aber auch die Aufnahme und Abgabe von flüssigen Substanzen erfolgt in dem weichen und imbibierten Körper der Rheokristalle ähnlich wie bei den einfachsten Organismen. Sehr deutlich zeigt sich das bei der Färbung mit verschiedenen gelösten Farbstoffen (ebenso wie bei der Tinktion wirklicher Zellen).

Vergiftung. Sehr merkwürdig und für das „Leben" der Kristalle beweisend (sowohl für ihren „Willen", wie für ihre „Fühlung") ist die Tatsache, daß ihre Entwicklung durch Einwirkung fremder chemischer Körper auffällig verändert wird. Wenn Salmiak aus einem Tropfen wässeriger Lösung bei dem Verdampfen auskristallisiert, entstehen charakteristische Sterrokristalle, die man einem Tannenbaum oder einer Pappelallee verglichen hat (Fig. 9). Setzt man dem Präparat unter dem Mikroskop auf einer Seite Eisenchlorid zu, so werden die Salmiakkristalle rotgelb gefärbt; zugleich werden sie in ihrem Wachstum so gestört, daß sie die abnorme Kreuzform einer regulär vierblättrigen Blume annehmen (Fig. 10). Noch auffälliger ist diese Vergiftung bei den Kristallen der Mekonsäure, wenn sie mit Anilinviolett gefärbt werden; je mehr Farbstoff aufgenommen wird, desto mehr wird die ursprüngliche Kristallform verzerrt; es entstehen unregelmäßig strahlige und zuletzt unförmlich knorrige Gebilde (Fig. 11).

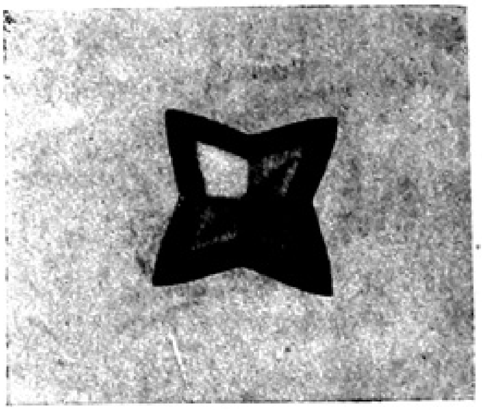


Fig. 10. **Vergifteter Kristall von Salmiak,** durch Eisenchlorid rotgelb gefärbt, quadratisch, einer regulär vierblätterigen Blume ähnlich.

Nucleation (Kernbildung). Im Zentrum vieler kugelförmigen Rheokristalle ist ein dunkler, dichterer Kern zu unterscheiden, der sich ähnlich dem homogenen Zellkern in vielen niederen Protisten verhält (Fig. 12). Dieser homogene Kristallkern entsteht durch zentrale Densation, durch stärkere Kohäsion der zentralen Moleküle. Wenn zwei solche sphärische Kristalltropfen in Berührung geraten und wie zwei Wassertropfen oder Öltropfen zusammen-

fließen, zeigt die kopulierte Kugel eine Zeitlang noch zwei Kerne, und zwischen beiden einen dritten, dunkeln Punkt von abweichender Gestalt. Erst allmählich gewinnt der kugelige Doppelkristall eine einheitliche Gestalt und zeigt im Zentrum nur einen Kern. Es findet hier also eine ähnliche direkte Kernbildung (ohne Chromosomen) statt, wie bei vielen ähnlich kopulierenden niederen Protisten. (Vgl. Fig. 12, 13 und Titelbild, Fig. 7, 20—24.)

Polymorphismus. Die Formwandlungen der Rheokristalle unter dem Einflusse verschiedener Lebensbedingungen — besonders wechselnder Temperatur und chemischer Aktionen — sind

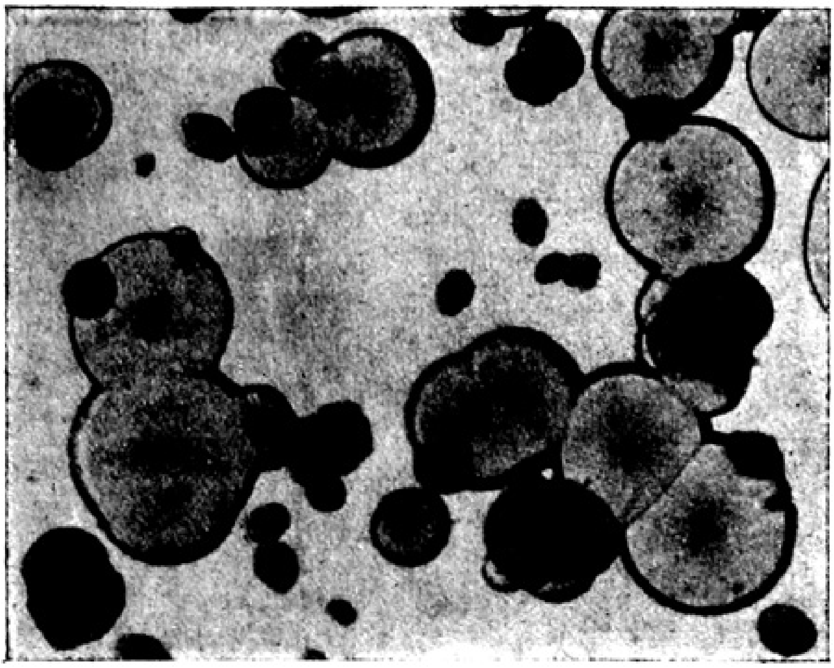


Fig. 12. **Kugelkristalle von Cholesteryl-Benzoat,** zum Teil zusammenfließend, mit radial faserigem Bau (wie Amylumkörner).

ebenfalls von hohem Interesse und den vitalen Formveränderungen vieler Protisten zu vergleichen. Bei dem Ammonium-Oleat, Lezithin und verwandten Lipoiden (die auch im Plasma vieler Zellen eine große Rolle spielen) hat Lehmann sicher nachgewiesen, daß die fließenden Kristalle polyedrisch sind, dem quadratischen System angehören und sich im polarisierten Licht ebenso verhalten wie echte feste Kristalle dieses Systems. Anderseits können dünnflüssige Kristalle die Kugelform annehmen und dabei doch ebenso anisotrop sich verhalten. (Vgl. die kugeligen Kristalltropfen von Para-Azoxy-Anisol Fig. 6—28 auf dem Titelbilde.)

Exkretion. Wenn fein zerteilte fremde Körper, z. B. fein zerriebene Tusche, während der Kristallisation in der Flüssigkeit vorhanden sind, so schieben die sich richtenden Moleküle des ölsauren Alkalisalzes dieselben beiseite und befördern sie nach außen; so entsteht ein klarer, homogener Rheokristall. Man kann diesen Vorgang, der nur durch feine Fühlung der Moleküle sich erklären läßt, und den Lehmann als Selbstreinigung bezeichnet, geradezu der Ausscheidung oder Exkretion organischer Zellen vergleichen. Wenn in der Mutterlauge sich zufällig eine Luftblase befindet, breitet sich der Rheokristall auf der Oberfläche in Gestalt einer

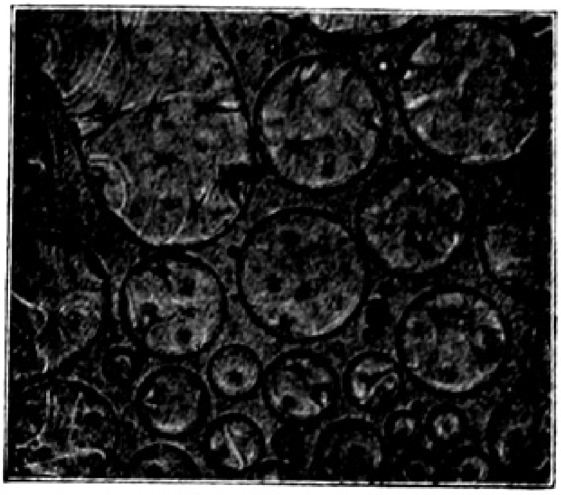


Fig. 13. **Kopulation von kernhaltigen Kugelkristallen.**
Die Sphärokristalle des trübschmelzenden Paraazoxy-Phenatol (Gattermann) sind so leichtflüssig wie Wasser, enthalten einen zentralen Kern und verhalten sich beim Zusammenfließen wie kopulierende Zellen.

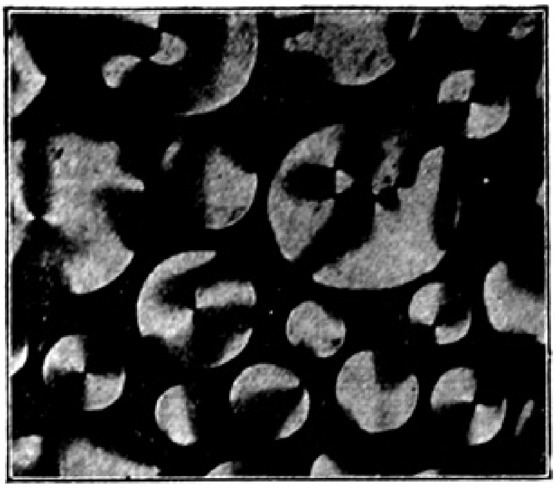


Fig. 14. **Dichroismus derselben flüssigen Kugelkristalle** (Fig. 13) im polarisierten Licht. Innere Struktur. Vgl. das Titelbild und Erklärung, Seite 24; Fig. 9—24, insbesondere Fig. 10—18.

kugelförmigen pseudo-isotropen Schicht aus und bildet so einen blasenförmigen hohlen Sphärokristall.

Regeneration. Viele Kristalle, sowohl feste als flüssige, besitzen die Fähigkeit, Verletzungen auszuheilen und verlorengegangene Teile wieder zu ersetzen. Diese Regeneration, die schon lange bekannt ist, beweist eine innere Korrelation der Teile während des „Lebens der Kristalle“, und liefert ein weiteres Argument für unsere Psychomatik. Wir müssen daraus schließen, daß eine feine statische Empfindung oder ein „Symmetriegefühl“ die Moleküle beseelt und sie zwingt, in einer ganz bestimmten Haltung und Richtung des Raumes sich aneinander zu lagern. Die Gesetze dieser

Regeneration sind bei Anorganen und Organismen im wesentlichen dieselben und beruhen auf den gleichen Prinzipien.

Bewegung. Zu den auffälligsten Lebenserscheinungen der Rheokristalle gehören die lebhaften Bewegungen, welche dieselben bei einer bestimmten Temperatur in der Nährflüssigkeit ausführen. Sie sind mit bedeutenden Formveränderungen und mit Kopulationsvorgängen verknüpft. Bei diesen sozialen Verbänden — Coenobien einfachster Art — lassen sich die psychomatischen Prozesse — Fühlung, Reizbarkeit, Willen — sehr deutlich erkennen und in den leptonischen Gesetzen ihrer Molekularbewegung klar

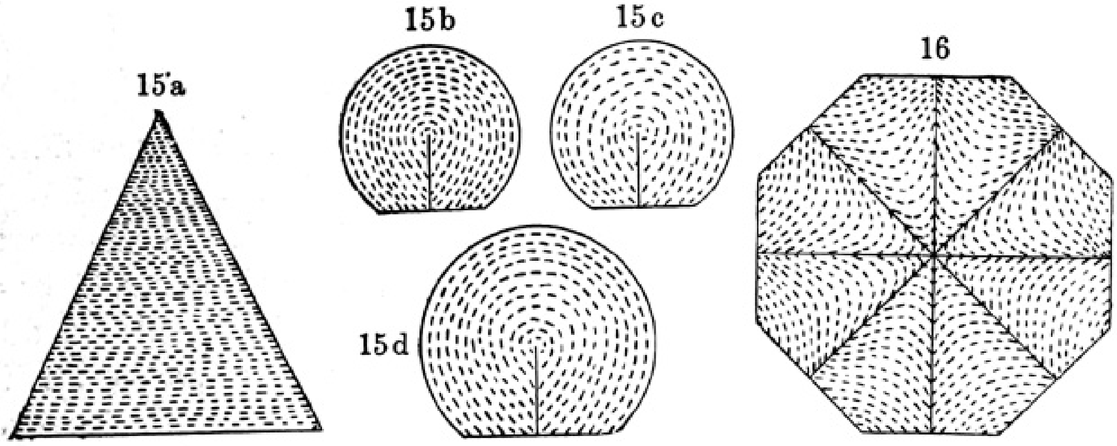


Fig. 15, 16. Metamorphose von Rheokristallen bei verschiedener Temperatur (von Vorländers „Para-Azoxy-Zimmtsäure-Äthyl-Ester").

Die normale Form der „hemimorphen Pyramide" (Fig. 15a) verliert ihre Spitzen und nähert sich der Kugel. Doch bleibt an der Basis eine Abplattung, von der eine radiale Schliere gegen das Zentrum zieht (Fig. 15b). Zwei solche Kugeln, in gleicher Stellung kopuliert, fließen zu einem einheitlichen Tropfen zusammen (Fig. 15d). Wenn acht solche Tropfen sich vereinigen, entsteht ein achtstrahliger Rheokristall (Fig. 16). Wenn aber zwei Komponenten mit ihrer flachen Basis verkleben, bilden sie einen Zwilling oder Doppeltropfen, ohne zusammenzufließen. Die Arbeit der fühlenden Moleküle äußert sich sehr deutlich im Verhalten ihrer Molethynen.

verfolgen (Fig. 15—22). Die zusammengeflossenen Doppeltropfen können sich zu einem bakterienähnlichen Stäbchen umbilden, und dieses sich zu einem langen „schlangenförmigen Körper" ausdehnen. „Ganz wie Bakterien können die Stäbchen oder Schlangen vorwärts oder rückwärts kriechen und sich gleichzeitig hin- und herschlängeln und um ihre Achse drehen." Das lebhafte Gewimmel dieser Nematoden-ähnlichen Rheokristalle gleicht demjenigen von Infusorien, die sich massenhaft in einem Wassertropfen umher tummeln. Ihr Wachstum erfolgt deutlich durch Intussuszeption. Bei manchen Stoffen, z. B. Cholesteryl-Kaprinat, treten wurmför-

mige Rheokristalle in zwei verschiedenen Modifikationen auf, die sich ineinander verwandeln können (Fig. 17).

Fühlung (Aesthesis). Die unbefangene Vergleichung der verschiedenen Zustände der Rheokristalle und der Veränderungen, welche sie durch ihre Lebenstätigkeit eingehen — besonders aber ihre kritische Vergleichung mit den entsprechenden Lebensäußerungen der niedersten Organismen (Probionten und Protisten) führt uns zu der Überzeugung, daß die „lebendige Substanz" der ersteren ebenso mit unbewußter Empfindung begabt ist, wie das Plasma der letzteren. Insbesondere fällt hier die Übereinstimmung mit den Radiolarien auf, deren Psychom wir nachstehend näher betrachten wollen.

Myelinformen. Zu den auffallendsten „Lebenserscheinungen" der Rheokristalle gehören die andauernden spontanen Bewegungen, welche man an den sogenannten Myelinformen beobachtet. Das merkwürdige „Myelin" wurde 1854 von Virchow im Nervenmark des Menschen entdeckt; später ergab sich, daß verschiedene Kohlenstoffverbindungen von ähnlicher physikalischer und kristallinischer Beschaffenheit im Plasma weit verbreitet vorkommen, und vielleicht im organischen Lebensprozeß eine große Rolle spielen. Dieselben sind teils stickstofflos (Fettsäuren und Cholesterine), teils stickstoffhaltig (Lezithin und Protagon). Am Ammonium-Oleat wurden die lebhaft sich bewegenden Myelinformen schon vor dreißig Jahren von Lehmann beobachtet (Fig. 18—22). Diese „lebenden" Kristalle kann man sehr einfach künstlich erzeugen, wenn man einen Tropfen käuflicher Ölsäure in wässeriges Ammoniak bringt. Aber auch Verbindungen von Alkalien mit Fettsäuren, sowie verschiedene Schmierseifen (die namentlich von Otto Bütschli und Georg Quincke in Heidelberg studiert wurden) zeigen dieselben Erscheinungen; sie wurden bald mehr als rein physikalische und chemische gedeutet, bald als eigentlich physiologische, von „Lebenskräften" abhängig, die nach unserer jetzigen monistischen Auffassung von ersteren gar nicht prinzipiell verschieden sind.



Fig. 17. **Molethynen des Cholesteril-Kaprinats.** „Wurmförmige" Rheokristalle in zwei Modifikationen.

Ambronn*) beschreibt diese Myelinbewegungen folgendermaßen: „Breitet man etwas Lezithin auf dem Objektträger aus und setzt Wasser hinzu, so wachsen nach kurzer Zeit jene Gebilde hervor, die sehr bald eine deutliche doppelte Kontur zeigen und zu den mannigfaltigsten Figuren sich entwickeln; die Spitzen der fortwachsenden Schläuche führen dabei fast fortwährend rotierende Bewegungen aus. Man kann das Wachstum und die Struktur dieser Schläuche, Kugeln usw. tagelang unter dem Mikroskop verfolgen, wenn man statt Wasser verdünntes Glyzerin zusetzt; das Wachstum erfolgt dann bedeutend langsamer.“ Die physikalische Erklärung dieser auffallenden spontanen Bewegungen ergibt sich zum Teil aus dem Antagonismus zwischen der (äußerlichen) Oberflächenspannung und der (innerlichen) Richtkraft der Moleküle, der Molethynen.

Hohle Sphärokristalle. Unter den vielen merkwürdigen Formen der metabolischen Myelinkristalle, welche Lehmann zuerst am ölsauren Ammoniak, später aber auch beim Erhitzen von Cholesterin mit Glyzerin, und bei vielen anderen fettsauren Alkalien beobachtete, sind besonders hervorzuheben die blasenförmigen oder „hohlen Sphärokristalle“ (l. c. S. 261, Fig. 159—177; vgl. auch dazu unser Titelbild, Fig. 6—22). Beim Abkühlen der erhitzten Lösung bilden sich zunächst übersättigte Tröpfchen, neben oder in welchen sich flüssige Kristalle ausscheiden. Indem diese mit der Oberfläche der kugeligen Tropfen in Berührung kommen und sich auf ihr ausbreiten, entsteht ein flüssig-kristallinischer Überzug von gleichmäßiger Molekularstruktur. Je nachdem die Dicke dieser anisotropen Membran und ihr Verhältnis zu dem isotrop-flüssigen Inhalt wechselt, beobachtet man bei fortschreitender Abkühlung der Lösung unter dem Polarisations-Mikroskop die merkwürdigen Verwandlungen der hohlen Kugelkristalle und ihrer Molekularstruktur, welche auf unserem Titelbilde in Fig. 6—24 nach Lehmann dargestellt sind. Sehr auffallend ist die Ähnlichkeit, welche diese „lebendigen“ Hohlkugeln in ihren verschiedenen Bildungsphasen mit organischen Zellen zeigen. Nicht allein die Dicke der äußeren „Membran“ und ihr Verhältnis zu dem flüssigen Inhalt ist vielfach wechselnd, sondern auch die Bildung eines verdichteten „Kernes“ im Mittelpunkt dieser Kugel (Titelbild

*) Ambronn, 1890, in den Berichten der K. S. Gesellschaft der Wissenschaften, Leipzig, S. 42, 425.

Fig. 6 u. 22). Wenn zwei hohle Sphärokristalle zusammenfließen (wie bei der Kopulation von einzelligen Protisten), verschmelzen

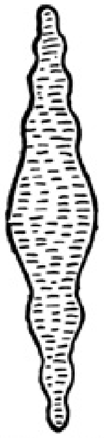


Fig. 22.

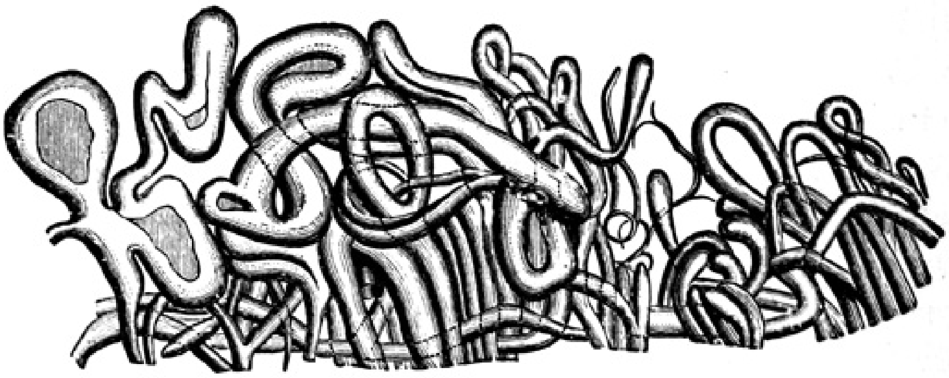


Fig. 18.

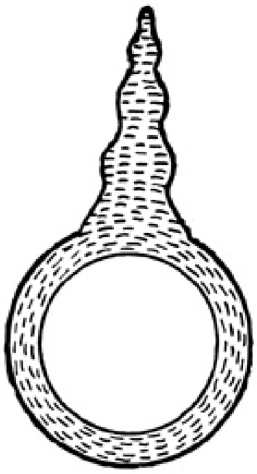


Fig. 20.

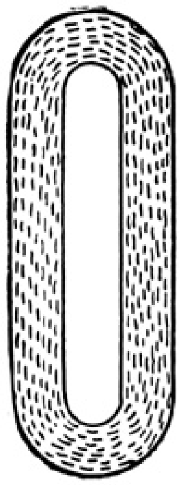


Fig. 21.

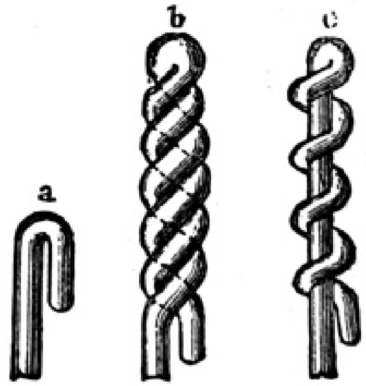


Fig. 19.

Fig. 18—22. Myelinformen von Ammonium-Oleat,
nach Beobachtungen von Otto Lehmann, 1887.

Fig. 18. Eine Gruppe von „lebenden" Rheokristallen, die sich andauernd lebhaft bewegen und ihre Form beständig verändern.

Fig. 19. Ein einzelner Rheokristall von zylindrischer Form, in drei verschiedenen Zuständen der Bewegung; derselbe krümmt sich (*a*) und dreht sich spiralig um seine eigene Achse (*b*, *c*).

Fig. 20. Ein hohler Sphärokristall, in Abrundung begriffen.

Fig. 21. Derselbe verwandelt sich in einen hohlen Zylinder. Später geht dieser in einen soliden einachsigen Kristall von Spindelform über (Fig. 22).

Die Richtung der Moleküle ist durch kleine Striche in der flüssig kristallinischen Haut des hohlen Kristalls angedeutet; zuletzt steht ihre optische Achse senkrecht zur Oberfläche der Flüssigkeit.

Nach Lehmann, „Die neue Welt" (1911), S. 259.

auch ihre beiden Kerne (Fig. 23). Bei weiterem Wachstum gewinnt im „Kampf ums Dasein unter den Molekülen" die stärkere Molethyne (kristallinische Richtkraft) das Übergewicht über die schwä-

chere Fazialtension (Oberflächenspannung); die Hohlkugel (Fig. 20) verwandelt sich in einen hohlen Stab oder Zylinder (Fig. 21). Wird neue Nahrung zugeführt, so schnürt sich der wachsende Zylinder in der Mitte ein und zerfällt durch Hemitomie in zwei gleiche Hälften. Und doch lehrt die Verwandlung der Molekularstruktur, wie sie in Fig. 8 und 13 schematisch dargestellt ist, daß es sich in Wirklichkeit nicht um eine „künstliche Zelle" handelt, sondern um einen sphärischen Rheokristall. Trotzdem verdienen diese physikalischen „Metamorphosen" der „nicht organisierten" Rheokristalle und ihre Ähnlichkeit mit den „organisierten" Zellen die besondere Aufmerksamkeit der Biologen und Zytologen. Die künstlich hergestellte Myelinkugel gleicht vollkommen dem natürlich entstandenen Chroococcus; — Archigonie von Probionten!

Leben der Kristalle. Wenn wir die bedeutungsvollen Fortschritte kurz zusammenfassen, welche die Kristallkunde in den letzten zwölf Jahren gemacht hat, und wenn wir sie verbinden mit den reichen Ergebnissen der Biologie (seit 1904), so kommen wir zu folgenden wichtigen Erkenntnissen: I. Alle Kristalle, ebenso die festen Sterrokristalle wie die flüssigen Rheokristalle, sind lebendig, so lange sie wachsen und sich entwickeln — so lange, als sich die latente Gestaltungskraft ihrer Substanz (die potentielle Energie) in aktuelle Energie (oder „lebendige Kraft") umsetzt. II. Die molekularen Bewegungen und die damit verknüpften Fühlungen der kristallisierenden Substanz sind im Prinzip nicht verschieden von den entsprechenden „Lebens-Erscheinungen" der niedersten Organismen, die man früher einer teleologischen „Lebenskraft" zuschrieb. III. Alle diese „Lebens-Akte" (im weitesten Sinne) sowohl anorganische wie organische, sind auf die gleichen elementaren Gesetze der Physik und Chemie zurückzuführen, zuletzt auf das monistische Substanz-Gesetz (Tabelle VIII unten im Anhang). IV. Durch die unbefangene kritische Vergleichung der sphärischen Rheokristalle (Myelinkugeln) mit den einfachsten Probionten (Chroococcus) wird die traditionelle künstliche Scheidewand zwischen anorganischer und organischer Natur endgültig aufgehoben.

Zweites Kapitel:

Probiontik (= Zytodenkunde).

Aufgabe der Probiontik. Die tiefe Kluft, welche nach der älteren, auch heute noch sehr verbreiteten Naturanschauung die lebendigen Körper von den leblosen, die Organismen von den Anorganen trennt, ist durch die wichtigen Entdeckungen des Jahres 1904 tatsächlich ausgefüllt. Einerseits schlagen die Rheokristalle, die „lebenden flüssigen Kristalle", anderseits die Probionten, als Zytoden, als einfache „kernlose Zellen", die unmittelbare reale Verbindungsbrücke zwischen den beiden sogenannten „Reichen" der leblosen und der lebendigen Natur. Demgemäß verdienen von jetzt an diese Probionten, die bisher von der Theorie sehr vernachlässigten „einfachsten Lebensformen", das eingehendste Studium. Denn die unbefangene kritische Vergleichung derselben einerseits mit den Rheokristallen, anderseits mit den echten kernhaltigen Zellen, öffnet uns nicht allein die verschlossene Pforte zum einheitlichen physikalischen Verständnis der Gesamtnatur; sondern sie löst zugleich das große Rätsel vom „Lebenswunder", von der natürlichen Entstehung der einfachsten Organismen aus anorganischer Substanz, das vielumstrittene Problem der Urzeugung (Archigonie). Dem entsprechend erscheint es nützlich, den besonderen Zweig der Naturkunde, der die tiefere Erkenntnis dieser Probionten sich zur Aufgabe macht, als Probiontik hervorzuheben und in die Mitte zwischen Anorgik und Biologie zu stellen.

Probionten („Präzellare Organismen", Vorstufen des organischen Lebens; „Lebenswunder", 1904, Kap. 9, S. 217). Der wesentlichste Charakter dieser einfachsten und primitivsten „Organismen", die heute noch auf unserem Erdball leben, besteht darin, daß sie noch keine eigentliche Organisation besitzen; ihr lebendiger Körper zeigt noch keine Zusammensetzung aus getrennten Organen, aus morphologisch selbständigen Körperteilen, die verschiedene physiologische Bedeutung haben. Der ganze Orga-

nismus dieser Probionten bleibt im einfachsten Falle zeitlebens ein homogenes, ursprünglich kugelförmiges Plasmakorn, nicht wesentlich verschieden von einem Rheokristall, z. B. einer Myelinkugel. Gleich dem letzteren wächst er bei ausreichender Nahrungszufuhr und zerfällt, wenn er eine gewisse Größe erreicht hat, durch „transgressives Wachstum“ in zwei gleiche Hälften (Hemitomie). Damit ist der ganze Lebenskreislauf dieser Probionten vollendet. Die ursprüngliche Kugelform des strukturlosen Plasmakorns wird vielfach abgeändert; auch können durch seine Lebenstätigkeit in der homogenen Substanz mancherlei geformte Bestandteile sekundär sich sondern. Aber es fehlt der Zellkern, und damit der wesentlichste Charakter der Zelle, und der damit verknüpfte Sexualismus. Noch heute leben solche einfachsten Probionten auf unserer Erde weit verbreitet, in den drei Klassen der Moneren, der Chromaceen und der Bakterien.

Problematische Moneren. Zur Aufstellung des vielumstrittenen Monerenbegriffes im fünften Kapitel der „Generellen Morphologie“ wurde ich durch Beobachtungen an einigen kernlosen Rhizopoden geführt, deren ganzer Organismus einen strukturlosen Plasmakörper einfachster Art vorstellt, von dessen Oberfläche bewegliche und veränderliche Fortsätze ausstrahlen. Schon Max Schultze hatte 1854 in seinem Werk über Polythalamien eine kernlose Amoeba porrecta dargestellt. Ich selbst beobachtete 1864 in Nizza einen ähnlichen nackten Organismus, den ich als Protogenes primordialis beschrieb. Eine andere, amoeboide Form, die sich einfach durch Teilung fortpflanzt, fand ich wiederholt im Süßwasser bei Jena: Protamoeba primitiva; sie ist in der Natürlichen Schöpfungsgeschichte abgebildet. Ähnliche Formen sind auch von anderen Beobachtern neuerdings wieder beschrieben worden, so die ansehnliche Pelomyxa pallida von Gruber.*) Hier so-

*) **Moneren.** Eine eingehende Darstellung dieser und ähnlicher kernloser Rhizopoden gab ich 1870 in meinen „Studien über Moneren und andere Protisten“. Damals besaß man noch nicht die wichtigen Färbungsmittel, durch welche der Zellkern meistens leicht von dem umschließenden Cytoplasma-Körper zu unterscheiden ist. Erst zwanzig Jahre später wurde mittels feiner neuer Tinktionsmethoden auch in vielen früher für kernlos gehaltenen Zellen die Existenz eines echten Zellkerns und seine hohe Bedeutung für die Prozesse der Zellteilung (Karyokinese) nachgewiesen. Nun zeigte sich, daß auch in mehreren von mir als kernlos beschriebenen Protisten tatsächlich ein Zellkern existiert. Indessen gilt dies nicht von allen jenen niedersten Protisten, die ich in der Systematischen Phylogenie der Protisten (1894, S. 138, 144) als „Zoomoneren“ unterschieden habe. Von

wohl, wie bei den kernlosen Chromaceen und Bakterien, entsteht die Frage, wozu die hypothetischen Zellkerne bei diesen Moneren, die nicht sexuell differenziert sind und sich einfach durch Teilung vermehren, dienen sollen? Im weiteren Sinne sind alle diese Probionten als wirkliche Moneren (gemäß meiner ursprünglichen Definition „Organismen ohne Organe"! 1866) zu beurteilen; — im engeren Sinne erscheint es aber jetzt praktischer, diesen Begriff auf jene wirklich kernlosen Rhizopoden zu beschränken, auf die Lobomoneren (Protamoeba, Gloidium) mit lappenförmigen, und die Rhizomoneren (Pelomyxa, Protomyxa) mit wurzelförmigen Pseudopodien. Gleichviel, wie diese Streitfrage entschieden wird, so bleibt doch für die einfachsten Chromaceen (Chroococcus), wie für die echten Bakterien (Micrococcus) der Moneren-Charakter bestehen.

Plasma (= „Lebendige Substanz"). — (Lebenswunder 1904, S. 137—164.) Als wichtigstes allgemeines Ergebnis der unzähligen Untersuchungen, die im letzten halben Jahrhundert mit der vervollkommneten Technik der modernen Mikroskopie und Chemie über die lebendige Substanz angestellt worden sind, wird jetzt ziemlich allgemein Folgendes angenommen. Allen Organismen gemeinsam dient als materielle Grundlage eine kolloidale oder festflüssige Substanz aus der chemischen Gruppe der Eiweißkörper, das Plasma im weitesten Sinne (früher meist „Protoplasma" genannt). Da ich meine persönliche Auffassung über die physikalische und chemische Beschaffenheit dieses fundamentalen „Lebensstoffes" bereits im 6. Kapitel der „Lebenswunder" eingehend dargelegt und auch die vielfachen Unterschiede der Anschauungen über seine Struktur und seine Produkte und Diffakte kritisch besprochen habe, beschränke ich mich hier auf die Hervorhebung derjenigen wichtigsten Punkte, welche für die vorliegende Betrachtung besondere Bedeutung haben. Dabei stütze ich mich auf die ausgedehnten eigenen Untersuchungen, die ich seit mehr als sechzig Jahren über die mikroskopischen Verhältnisse des Zellenlebens, ganz besonders der einzelligen Radiolarien und anderer Protisten,

---

neueren zuverlässigen Beobachtern ist seitdem bei mehreren kernlosen Rhizopoden, auch mit Hilfe der subtilsten „Kernfärbungsmittel", vergeblich nach einer Nucleus gesucht worden. Bei der ansehnlichen, im Mittelmeer lebenden Pelomyxa pallida von Gruber (die meinem Protogenes nahesteht) sind sehr zahlreiche äußerst kleine, staubartig verteilte Körnchen in dem strukturlosen und formlosen Plasmakörper als Chromidien oder Kernteilchen gedeutet worden; diese Deutung erscheint aber nicht hinreichend begründet.

angestellt habe. Es hat sich herausgestellt, in Übereinstimmung mit den Beobachtungen der meisten neueren Histologen, daß das **reine**, von Einschlüssen gesäuberte **Plasma** keine wahrnehmbare Struktur besitzt, sondern eine zähe homogene **Flüssigkeit** darstellt. Die mannigfaltigen „**Plasmastrukturen**", welche von den verschiedenen Autoren als Faden-, Körnchen-, Schaum-, Gerüst-Struktur usw. beschrieben wurden, gehören nicht zur Elementarstruktur des reinen ursprünglichen Plasma; sie sind nicht **Ursachen** seiner Lebenstätigkeit, sondern **Folgen** derselben: teils innere oder äußere Plasma-**Produkte**, teils **Diffakte** oder „Differenzierungs-Produkte", z. B. Sonderung der hyalinen Rindenschicht (Hyaloplasma) und der körnigen Markschicht (Polioplasma). Alle diese mannigfaltigen Modifikationen können unter dem Begriffe des **Metaplasma** (des sekundär entstandenen Plasma) zusammengefaßt werden, im Gegensatze zu dem reinen ursprünglichen **Protoplasma**. Daraus ergibt sich, daß der Begriff des Plasma rein **chemisch**, nicht aber **morphologisch** ist. Das ursprüngliche **primäre** Protoplasma ist in chemischer Beziehung ebenso **homogen** und ohne sichtbare Struktur, wie das Myelin und Lezithin der Rheokristalle. Wohl aber besitzt es eine sehr verwickelte unsichtbare **Molekularstruktur**. Denn die vergleichende Chemie der unendlich mannigfaltigen Plasmaarten hat uns zu der Überzeugung geführt, daß die Plasmamoleküle außerordentlich groß, meistens aus mehr als tausend Atomen zusammengefügt sind; daraus erklärt sich auch ihre grenzenlose Variabilität. Denn eine geringe Umlagerung einzelner Atome oder Atomgruppen in dem komplizierten Bau des Plasmamoleküls oder Plastiduls genügt, um die ganze Konfiguration desselben und damit auch seine morphologischen und physiologischen Eigenschaften mehr oder weniger, oft bedeutend zu ändern.*)

Plastiden. Im neunten Kapitel der Generellen Morphologie (Bd. I, S. 269—289) hatte ich 1866 den ersten Versuch gemacht, die **morphologische Individualität** der Organismen schärfer zu bestimmen, und deshalb als erste Stufe oder Ordnung derselben die **Plastiden** oder „Bildnerinnen" aufgestellt. Unter diesem allgemeinen Begriff, als „Individuen erster Ordnung", unterschied ich die **Zytoden** als „kernlose Plasmakörper" von den echten

*) Vgl. meine „Beiträge zur Plastiden-Theorie", 1870 (Jenaische Zeitschrift für Naturwiss. Bd. V, S. 492).

(kernführenden) Zellen. Als wesentliche (für den Zellbegriff unentbehrliche) Bestandteile der „aktiven Zellsubstanz" — im Gegensatz zu den passiven Plasmaprodukten — wurden das Plasma (oder Protoplasma) und der Nucleus (oder Karyon) gegenübergestellt. Die physiologische Bedeutung dieser beiden wesentlichsten Zell-Organelle bestimmte ich schon damals dahin, daß „der innere Kern die Vererbung der erblichen Charaktere, das äußere Plasma dagegen die Anpassung oder Adaptation an die Verhältnisse der Außenwelt zu besorgen hat". (Generelle Morphologie, S. 288.) Da gegenwärtig von den meisten Biologen dieser Hypothese hoher Wert beigelegt und der Nucleus oft geradezu als das „Organell der Vererbung" bezeichnet wird, darf besonders betont werden, daß dieselbe bereits 1866 von mir bestimmt formuliert wurde; aber erst acht Jahre später fand sie durch die sorgfältigen Beobachtungen der Gebrüder Hertwig, Strasburger, Bütschli, van Beneden u. a. ihre empirische Bestätigung.

Plastidule (= Plasmamoleküle). In den einfachsten **Moneren**, den primitivsten Formen der Plastiden, besteht der ganze Organismus der Zytode aus homogenem festflüssigen Plasma; jedes Molekül desselben ist dem anderen gleich, solange nicht durch die Lebenstätigkeit selbst Differenzierungen eintreten. Die Plasmamoleküle, die ich als Plastidule bezeichnet habe, verhalten sich also zur ganzen (ursprünglich kugelförmigen) Zytode ebenso wie die gleichartigen, chemisch identischen Kristallmoleküle zum ganzen Kristall-Individuum.*) In ähnlichem Sinne hat Max Verworn (1903) diese Plasmamoleküle als elementare Faktoren des Lebensprozesses aufgefaßt und als „Biogene" bezeichnet, jedoch mit dem Unterschiede, daß er die Biogene als „eine Gruppe von chemischen Verbindungen" auffaßt (Allgemeine Physiologie, Kap. 6). Nach der Mizellar-Hypothese von Naegeli (1884) sind die letzten Lebenseinheiten nicht homogene Plasmamoleküle, sondern Molekülgruppen, die aus mehreren verschiedenartigen Molekülen zusammengesetzt sind. Er schreibt diesen „Mizellen" kristallinische Struktur zu und nimmt an, daß sie kettenartig zu „Mizellarsträngen" verbunden sind, ähnlich wie in den Katenal-Coenobien der Schizo-

*) In meiner Abhandlung über die „Perigenesis der Plastidule" (1875) habe ich meine Ansichten über die Natur dieser kleinsten „Lebensteilchen" und die wichtige Rolle, die sie als Träger der Vererbung bei der Fortpflanzung spielen, eingehend auseindergesetzt. Vgl. meine „Gesammelten Vorträge über Entwicklungslehre". 2. Aufl., Bd. II (Bonn 1902).

phyten die Zytoden zu Ketten aneinandergereiht sind; diese Ketten können sich weiterhin verästeln und zu mannigfach geformten höheren Aggregaten verbinden. Die „Eisblumen“ an den gefrorenen Fensterscheiben und die baumförmig verästelten Kristall-Vereine der Dendriten können als grobe Abbilder dieser unsichtbaren Mizellarstruktur gelten.

Der theoretische Versuch von Naegeli über „Kräfte und Gestaltungen im molekularen Gebiet“, ein Anhang zu seiner Mechanisch-Physiologischen Theorie der Abstammungslehre (1884), enthält weitere physikalische und chemische Erörterungen über seine Mizellar-Hypothese und die verwandten Probleme. Die Betonung der kristallinischen Struktur der Mizelle ist um so mehr bemerkenswert, als damals die „lebenden Kristalle“ von Lehmann (erst 1904 vollständig beschrieben) noch unbekannt waren. Neuerdings gewinnt die Auffassung immer mehr Geltung, daß alle Gestaltungsvorgänge auf Kristallisation zurückzuführen sind; vorausgesetzt, daß den Molekülen Zeit und Gelegenheit gegeben ist, sich gesetzmäßig (den Molethynen folgend!) zu ordnen. Nur wenn diese Bedingungen fehlen (z. B. bei der Glasbildung, der übereilten Erstarrung flüssiger Körper), entstehen amorphe Massen. Gerade für das Verständnis dieser elementaren Gestaltungs-Verhältnisse scheint mir die Verbindung der Kristallotik mit der Psychomatik, die in dem einen Worte „Kristallseele“ ausgedrückt wird, von fundamentaler Bedeutung zu sein.

Schizophyten (Schizophyceen und Schizomyceten). „Spaltpflanzen“. Diese niedersten bekannten Organismen unterscheiden sich von den anderen Protisten sehr wesentlich durch zwei negative Merkmale, durch die Abwesenheit des Zellkerns und der sexuellen Differenzierung. Der ganze Organismus ist im einfachsten Fall eine kernlose Plastide, welche durch Assimilation wächst und sich durch einfache Teilung vermehrt. Bleiben die beiden gleichwertigen Teilprodukte (Tochterzytoden) zusammen, und vermehren sie sich weiter, eingebettet in eine gemeinsame Gallertmasse, so entstehen Coenobien einfachster Art (Syncytodia). Die beiden Klassen dieser primitiven Bionten unterscheiden sich dadurch, daß die älteren, verschieden gefärbten Schizophyceen oder „Spaltalgen“ (Chromaceen) autotroph sind und durch Karbon-Assimilation wachsen, während die jüngeren, meist farblosen Schizomyceten oder „Spaltpilze“ (Bakterien) meistens allotroph sind und ihre Plasmanahrung aus anderen Organismen entnehmen.

Erstere sind in Wirklichkeit physiologische Plasmabauer (Plasmodomen), letztere Plasmafresser (Plasmophagen).*)

Kernfrage. Die Streitfrage, ob es wirklich „kernlose Zellen“ gibt, ist in mehrfacher Hinsicht von hoher prinzipieller Bedeutung; sie ist eine wahre „Kernfrage“ nicht nur in histologischem und zytologischem, sondern auch in allgemein biologischem und philosophischem Sinne. Es hat sich daher gerade in neuester Zeit darüber eine umfangreiche Literatur entwickelt. Da besonders die Schizophyten zu deren Lösung in erster Linie berufen erscheinen, mögen hier nur kurz diejenigen Schriften hervorgehoben werden, in denen nach meiner Ansicht deren Kernmangel — also die Zytoden-Natur — auf Grund genauester Beobachtungen entscheidend nachgewiesen wird. Es erschienen gleichzeitig 1904 über „die Zelle der Cyanophyceen“ wertvolle Arbeiten von Zacharias (Hamburg), Alfred Fischer (Marburg) und Jean Massart (Brüssel); sie enthalten die nähere Begründung und Illustration der Anschauungen, welche von diesen Botanikern schon früher (seit 1890) über die Abwesenheit des Zellkerns ausgesprochen waren. Besonders energisch betont Massart in seiner gekrönten Preisschrift (über das Protoplasma der Schizophyten, 1900) die ganz isolierte Stellung der kernlosen Schizophyceen, die gar keine nähere Verwandtschaft zu irgendeiner anderen Klasse von Organismen besitzen und wirklich die ersten und einfachsten Anfangsstufen der Organisation darstellen.

Chroococcus (Chroococcaceae). Als den einfachsten und niedrigsten von allen bekannten Organismen, dessen hohe Bedeutung noch heute lange nicht genug gewürdigt ist, dürfen wir den Chroococcus betrachten, eine strukturlose homogene Plasmakugel, welche sich durch Zweiteilung vermehrt und noch keinerlei wirkliche Organisation besitzt. — Die Familie der echten Chroococcaceen lebt noch heute weitverbreitet im Süßwasser und im Meere, auf feuchten Felsen und auf Baumrinde. In den neuesten botanischen Lehr-

*) Bisher wurden die Schizophyzeen in den Lehrbüchern meistens an die Algen angeschlossen, hingegen die Schizomyceten an die Pilze. Erst in neuester Zeit haben sich die systematischen Botaniker entschlossen, diese unnatürliche Einordnung aufzugeben und den beiden Klassen der Schizophyten ihre gebührende selbständige Stellung, als eigenartige primitivste Organismen, auf der niedersten Stufe des Pflanzenreichs, einzuräumen. Vgl. das neuere Handbuch der Systematischen Botanik von Wettstein (1910), das Lehrbuch der Botanik von Strasburger (1915) und den Syllabus der Pflanzenfamilien von Engler (1909).

büchern werden sie als erste Familie (oder Ordnung) der Schizophyten aufgeführt. Ihre erste genaue Beschreibung gab schon vor nahezu siebzig Jahren Naegeli in seiner Abhandlung über „Gattungen einzelliger Algen" (1849); die Genera Chroococcus, Gloeocapsa und Aphanocapsa werden hier dadurch als nächstverwandt charakterisiert, daß „ihre Zellen sich abwechselnd in den drei Richtungen des Raumes teilen". Die genauesten mikroskopischen Untersuchungen der neuesten Zeit haben festgestellt, daß der homogene, spangrün oder orange gefärbte, oft auch chlorophyllhaltige Plasmakörper dieser kugeligen Zytoden keinerlei sichtbare Struktur besitzt; ein Zellkern fehlt vollständig. Bei den meisten

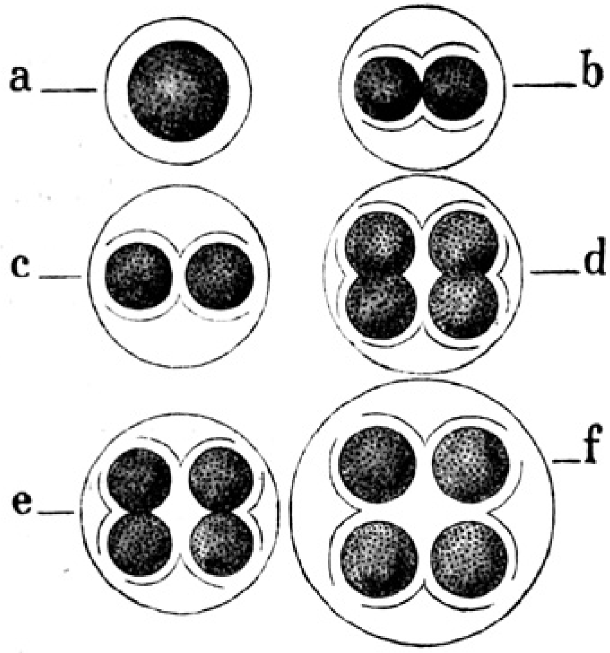


Fig. 23. **Chroococcus pallidus** in mehreren Stadien der Zweiteilung.

Die Urform der Chromaceen (oder Cyanophyceen), sehr stark vergrößert. Die kugelige Zytode enthält keinen Zellkern, nur homogenes, ganz strukturloses oder fein punktiertes Plasma; sie ist von einer zarten, strukturlosen Gallerthülle umgeben, *a* bis *f* wiederholte Hemitomie.

Chroococcalen ist die Plasmakugel von einer dünnen Membran umschlossen; bei vielen kommt dazu noch eine strukturlose, oft ansehnlich dicke Gallerthülle, als Ausscheidungsprodukt. Aber bei anderen ist, wie schon Naegeli hervorhebt, „die Zellwandung von der größten Dünnheit, bloß als Linie zu bemerken". — Dieser Anfang der „Membranation" ist noch keine „Organisation"; er muß vielmehr als rein physikalisches Produkt der „Oberflächenspannung" oder „Facialtension" betrachtet werden.

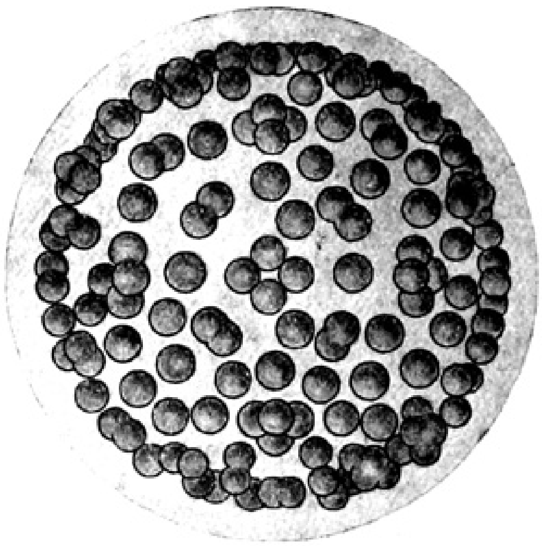
Wenn man unbefangen die homogene Zytode der Chroococcaceen einerseits mit den gleichgeformten sphärischen Individuen mancher Rheokristalle (z. B. einer einfachen Myelinkugel), anderseits mit den echten kernhaltigen Zellen einfachster Protophyten (Algarien) vergleicht, so erscheinen sie näher den ersteren als den

letzteren verwandt. Anderseits kann man sie aber auch den Chloroplasten oder „Chlorophyllkörnern“ im Innern der echten Pflanzenzellen gleichstellen, die innerhalb derselben wachsen und sich durch Teilung vermehren.*)

Chromaceen (Phycochromacea oder Cyanophycea).**) (Systematische Phylogenie 1894, Bd. I, S. 101.) Während die einfachsten Formen der Chromaceen, die Chroococcaceen, als Monobionten leben, als isolierte kugelige Plasmakörner, die nach erfolgter Zweiteilung sich trennen und selbständig wachsen, bleiben bei der großen Mehrzahl der Cyanophyceen die Zytoden in gemeinsamen strukturlosen Gallerthüllen vereinigt und bilden so als Coenobionten primitive „Zellvereine oder Zellfamilien“, — richtiger Zytoden-

Fig. 24. **Coelosphaerium Kützingianum.** Ein kugeliger Zytodenverein (Coenobium) stark vergrößert.

In die strukturlose weiche Gallertkugel sind zahlreiche kugelförmige Zytoden eingebettet; sie bilden eine sphärische lockere Schicht unterhalb der glatten Oberfläche und vermehren sich durch wiederholte Teilung. Die einzelnen Zytoden sind strukturlose spangrüne Plasmakugeln, ohne Zellkern (wie Chroococcus, Fig. 23).



horden (Syncytodia). Ein einfachstes derartiges Coenobium ist Coelosphaerium (Fig. 24), eine Gallertkugel, in deren Oberfläche eine Schicht von sozialen Plasmakugeln eingebettet ist (ähnlich

---

*) Diese und andere wichtige Beziehungen der Chromaceen sind bereits im neunten Kapitel der „Lebenswunder“ gebührend berücksichtigt worden.

**) Cyanophyceen. Die wichtigsten neueren Arbeiten über den Bau der Chromaceen sind: Zacharias, 1904 (und früher 1900 und 1890); Jahrbuch der Hamburger Wissenschaftlichen Anstalten, Bd. XXI. — Hieroronymus, 1892 (in Cohns Beiträgen zur Biologie der Pflanzen, 1902, Breslau, S. 461, Taf. 17, 18, mit ausgezeichneten Abbildungen). — Alfred Fischer, Die Zelle der Cyanophyceen, 1905, in Botanische Zeitung, Heft 4 bis 6, Taf. 4, 5. — Jean Massart, Sur la protoplasme des Schizophytes, 1900, Bruxelles. (Gekrönte Preisschrift der belgischen Akademie.) Viele gute Abbildungen von Schizophyceen und von Bakterien nebst eingehender systematischer und oekologischer Beschreibung (von Kirchner und Migula) finden sich in: Engler, Die natürlichen Pflanzenfamilien, I. Teil: Schizophyta. Leipzig 1900.

wie bei dem Flagellaten Volvox). Die weitaus häufigste Form dieser sozialen Gemeinden ist das Catenal-Coenobium, die Zytodenkette; so bei den überall im Süßwasser verbreiteten Familien der Oszillatorien, Nostocaceen, Rivularien usw. Die ursprüngliche Kugelform der Zytode geht hier in die Form einer kreisrunden Scheibe (eines niedrigen Zylinders) über. Da sich ihre Teilhälften fortgesetzt immer in einer Richtung teilen, und die einzelnen Scheiben sich aneinanderlegen, wie die Münzen einer Geldrolle, so entstehen lange Fäden, die bald einfach bleiben, bald sich verästeln, bald sich bündelweise aneinanderlegen. Auch bei den Zytoden dieser Coenobien ist kein Zellkern zu finden, wie durch die sorgfältigen Untersuchungen von Hieronymus, Alfred Fischer, Otto Kirchner u. a. (1904) neuerdings zweifellos festgestellt ist, und wie ich durch eigene Beobachtungen an Trichodesmium und verwandten Oszillarien bestätigen kann.*)

Ökologie der Chromaceen. Nicht bloß in morphologischer, sondern auch in physiologischer und ökologischer Beziehung bieten diese niedersten Probionten mehrfach ein besonderes Interesse. Viele Arten leben parasitisch in den Organen von Pflanzen, manche sogar innerhalb der einzelnen Pflanzenzellen. Viele leben als Symbionten innig vereinigt mit Pilzen (als plasmodome „Gonidien") und bilden so die besondere Symbioseform der Flechten (Lichenes). Andere Chromaceen sind sehr unabhängig von äußeren Einflüssen und leben unter Existenzbedingungen, die keine anderen Organismen aushalten; so existieren manche Arten in heißen Thermalquellen bei einer Temperatur von 70—75° C. Viele entwickeln sich, unter rasch wiederholter Teilung der Zytoden, in kurzer Zeit so massenhaft, daß sie eine zusammenhängende schleimige Decke an der Oberfläche der Seen und des Meeres bilden („Wasserblüte"). So erscheinen im Frühjahr die Teiche oft spangrün gefärbt durch Oszillarien. Das Rote Meer an der Küste Ägyptens und das Gelbe Meer an der Küste von China haben ihren Namen erhalten durch

*) Gerade bei diesen Chromaceen haben sich die Verteidiger des „Zellendogma" alle Mühe gegeben, durch chemische und physikalische Experimente, wie durch Beobachtung mit den schärfsten Mikroskopen, die Existenz eines echten Zellkerns in dem homogenen Plasmakörper der Zytode nachzuweisen; aber vergebens. Bei diesen wie auch bei anderen zytologischen Versuchen aus neuerer Zeit ist wohl zu bedenken, daß durch die tief wirkenden chemischen und mechanischen Eingriffe im einfachen Körperbau der Plastiden künstliche Veränderungen hervorgerufen und Strukturverhältnisse erzeugt werden, die am lebenden Körper der Plastiden nicht existieren.

erstaunliche Massenentwicklung von fadenförmigen roten oder gelben Coenobien, die zu den Oszillarien-Gattungen Trichodesmium und Xanthodesmium gehören. Als ich am 10. März 1901 (auf der Rückfahrt von Java nach Ceylon) den Äquator kreuzte, fuhr unser Dampfer stundenlang durch eine ruhige Meeresfläche, die mit einer dicken roten oder orangefarbigen Schleimschicht überzogen war. Nachdem ich ein wenig von diesem roten Plankton an Bord gezogen und in einem Glasgefäß isoliert hatte, erschien es dem unbewaffneten Auge bei durchfallendem Licht wie feingehacktes gelbes Stroh, aus Flocken zusammengehäuft. Unter dem Mikroskop zeigte sich jede Flocke zusammengesetzt aus einem Filz von dicht verwobenen, gekreuzten und durch Gallerte verklebten Fadenbündeln, und jeder Faden glich einer Geldrolle, einer einfachen Kette von scheibenförmigen Zytoden. Bei dem roten Trichodesmium*) sind die Fäden gerade gestreckt und liegen in jedem Bündel parallel nebeneinander. Bei dem orange- oder strohgelben Xanthodesmium sind die Fäden dagegen gebogen und spiralig umeinandergedreht, wie die Fäden eines Strickes. Eine andere nahe verwandte Form des Plankton ist das „sonnenförmige“ Heliotrichum; hier strahlen unzählige gerade gestreckte Fäden von einem gemeinsamen Mittelpunkt aus und bilden einen goldfarbigen Stern, ähnlich der Actissa (Fig. 25). Während aber bei diesem Radiolar jeder Strahl ein strukturloser und vergänglicher Plasmafaden ist, besteht dagegen jeder Strahl des Heliotrichum aus einer einfachen Kette von sehr kleinen homogenen Zytoden.

Kokkogoneen und Hormogoneen. Als älteste Anfänge des organischen Lebens sind die physiologischen Erscheinungen der Chromaceen von höchstem phylogenetischen und philosophischen Interesse. Unter diesen steht obenan der primitive Modus ihrer geschlechtslosen Fortpflanzung. Zur richtigen Würdigung desselben ist wohl zu unterscheiden zwischen den beiden Ordnungen dieser Klasse, den niederen Kokkogoneen und den höheren Hormogoneen. Die primitiven Kokkogoneen (Chroococcus und Verwandte) sind die denkbar einfachsten Formen des organischen Lebens, primitive Zytoden, welche dauernd selbständig leben oder nur in lockeren Verbänden, gallertartigen Coenobien, vereinigt bleiben; sie haben keine freie Bewegung und bilden keine Hormogonien. Ihre ganze Lebenstätigkeit beschränkt sich auf autotrophes Wachstum, und

*) Trichodesmium. Vgl. meine „Malayischen Reisebriefe; aus Insulinde“ (Leipzig 1901, S. 246).

wenn dieses eine gewisse Grenze überschreitet, zerfällt die kugelige Zytode durch wiederholte Zweiteilung in 2, 4, 8 Plastiden usw. Bei den Coenobionten wird strukturlose Gallerte ausgeschieden, welche die Generationen zusammenhält. Diese allereinfachsten Kokkogoneen sind es, die unmittelbar mit den sphärischen Rheokristallen (Myelinkugeln) sich vergleichen lassen.

Die Hormogoneen hingegen, eine größere Zahl von höher entwickelten Chromaceen umfassend, bilden meistens Catenal-Coenobien, fadenförmige Ketten oder Perlenschnüre. Durch fortgesetzte Zweiteilung der Zytoden in einer Richtung entstehen zylindrische gegliederte Fäden, die sich oft bündelweise aneinanderlegen und mit strukturlosen Gallertscheiden umgeben. Ihre Vermehrung erfolgt durch Hormogonien oder „Keimfäden"; die wachsenden Fäden zerfallen in Fadenstücke, welche selbständige kriechende oder schwingende Bewegung besitzen, deren Ursache unbekannt ist. Nach einiger Zeit kommen dieselben zur Ruhe und wachsen früher oder später weiter. Außerdem pflanzen sich die Hormogoneen auch durch „Dauerzellen" (oder „Sporen") fort; diese lösen sich vom Kettenverbande und scheiden eine festere Hülle aus; nach längerer Zeit teilen sie sich und bilden entweder Hormogonien oder junge Fäden. Auch diese sogenannten „Dauerzellen" oder „Sporen" sind keine echten, kernhaltigen „Zellen", sondern kernlose Zytoden. Hierher gehören die Oszillatorien, aus denen einerseits die bekannten Nostocaceen, anderseits die Rivularien hervorgegangen sind. Bei diesen höher organisierten Hormogoneen treten also bereits Differenzierungen (auch weiterhin in bezug auf den feineren Zytodenbau) auf, welche den älteren Kokkogoneen noch fehlen.

Cyanophycin (Chromaceen-Pigment). Die auffallende Farbe der Chromaceen oder „Cyanophyceen", von welcher diese Probiontenklasse auch ihren Namen erhalten hat, wird durch Pigmentablagerung in der äußeren, das farblose Zentralkorn umgebenden Plasmaschicht der Zytode veranlaßt. Dieser Farbstoff, Cyanophycin genannt, gehört chemisch zur Gruppe der Eiweißkörper oder Proteine und ist dem Chorophyll nächst verwandt; gleich diesem besitzt es die höchste physiologische Bedeutung für den Prozeß der Plasmodomie oder der „Karbon-Assimilation". Bei den gewöhnlichen, überall verbreiteten Chromaceen des süßen Wassers, auch bei den meisten Chroococcaceen, die auf feuchten Steinen, Felsen, Baumrinden usw. leben, ist das Pigment bläulich-

grün oder spangrün, und daher hat die Klasse den gebräuchlichen Namen „Blautange“ oder „blaugrüne Algen“ (Cyanophyceae) erhalten. Aber neben der blaugrünen, blauen oder violetten Farbe kommen noch die verschiedensten anderen Farbentöne vor, in allen Abstufungen von Grün zu Gelb, Orange und Violett. Die merkwürdigen, vorher erwähnten Chromaceen des Meeres aber, welche in ungeheuren Massen die Oberfläche des offenen Ozeans (als „monotones Plankton“) bedecken, sind in der Tropenzone überwiegend gelb, orange oder rot gefärbt (Trichodesmium), in der arktischen Zone rotbraun oder schwarzbraun (Procytella). Da die Farbe auch bei nahe verwandten Chromaceen oft sehr verschieden ist, auch bei einer und derselben Art unter verschiedenen Bedingungen wechseln kann, so ist dieselbe für die ganze Klasse ebensowenig charakteristisch, wie das vielfach abgetönte Grün der Laubblätter bei den höheren Pflanzen. Wie bei uns im Herbst das alternde Laubgrün alle Töne der Farbenskala durch Gelbgrün zu Orange, Rot und Purpur durchmacht, so umgekehrt in den Tropen bei dem jungen Laube vieler Bäume, deren Blätter anfangs purpurn, dann rot und orange, zuletzt dunkelgrün erscheinen.

Thallus der Cyanophyceen. Die gebräuchliche Bezeichnung „Cyanophyceen“ für unsere plasmodomen Probionten ist aber auch aus anderen Gründen irreführend und verwerflich. Denn der Begriff „Phyceae“ oder „Tange“ sollte eigentlich nur für die echten Algen (im strengeren Sinne) verwendet werden, welche einen wirklichen Thallus bilden, die vier Klassen der Grünalgen (Chlorophyceae), Moosalgen (Charaphyceae), Braunalgen (Phaeophyceae) und Rotalgen (Rhodophyceae).*) Bei allen diesen echten Algen, die zum Reiche der Gewebpflanzen (Metaphyta) gehören, besteht der entwickelte Thallus oder Lagerbau aus differenzierten Geweben, die sich aus zahlreichen echten kernhaltigen Zellen aufbauen; auch besitzen sie alle geschlechtliche Fortpflanzung. Von allen diesen Charakterzügen ist bei unseren Chromaceen nichts zu finden. Sie sind kernlose Zytoden, die sich in einfachster Weise ungeschlechtlich durch Teilung vermehren, keine Gewebe und keine differenzierten Organe (in morphologischem Sinne) besitzen. Daher sind auch die Bezeichnungen Schizophyceae und Phycochromaceae zu verwerfen und durch den bequemen Terminus Chromaceae zu ersetzen. Wenn ihr Körper noch vielfach

*) Systematische Phylogenie der Pflanzen (Berlin 1894); Thallus S. 295. System der Algen S. 302, Stammbaum S. 303.

als Thallus beschrieben und also dem echten Thallus der Algen (oder Phyceen) gleichgesetzt wird, kann dieser Mangel an Logik nur verwirrend wirken; denn ein „einzelliger Thallus" ist eine „contradictio in adjecto" — noch dazu bei einer kernlosen Zytode, die gar keine echte „Zelle" ist.

Chromatellen (Chromatophoren). Die charakteristischen Farbstoffe der Chromaceen sind in dem homogenen Plasmakörper ihrer Zytode selten diffus verteilt oder nur an eine dünne Wandschicht (innen der Membran anliegend) gebunden. Vielmehr ist das Cyanophycin (ebenso wie das nahe verwandte Chlorophyll) meistens in fester Form aus dem Plasma abgeschieden und bildet besondere Pigmentkörner: Chromatellen oder Chromatophoren.*) Infolge der sehr genauen Untersuchungen derselben, die neuerdings namentlich von Zacharias, Hieronymus und Alfred Fischer (l. c.) angestellt wurden, haben diese „Chromatophoren" ein erhöhtes Interesse erregt, sowohl in physiologischer Hinsicht (als die „plasmodomen" Organelle der Karbon-Assimilation), wie wegen ihren morphologischen Beziehungen zu den Kristallen. Bei den meisten Chromaceen wird das Cyanophycin zuerst in Form kleiner Kugeln abgeschieden; wenn diese Sphärokristalle aber größer werden, geht die ursprüngliche Kugelform in den Würfel oder das reguläre Oktaeder über, die Grundform des tesseralen Kristallsystems. Bei Tolypothrix und anderen Hormogoneen fand Hieronymus oft in jeder Zytode einen ansehnlich großen Kristallwürfel und daneben eine große Anzahl Kügelchen von gleicher Größe (l. c. Taf. 18, Fig. 28). Offenbar wuchs der erstere auf Kosten der letzteren, die er „verzehrte", wie es bei dem Wachstum von Sterrokristallen und Biokristallen auch geschieht. Die kleinen Sphärokristalle, die oft in sehr großer Zahl im Plasma der Zytode verteilt sind, ordnen sich in vielfach verschiedener Weise. Sehr oft bilden sie in katenaler Ordnung lange Perlschnüre, und diese Ketten selbst bilden innerhalb der Plasmakugel mannigfache, oft symmetrische Figuren. Die Form des einzelnen Sphärokristalls geht aus der Kugel durch monaxones Wachstum in das Ellipsoid oder den Zylinder über, durch Abplattung in die Linse oder Scheibe. Die Figuren, welche diese Stäbchen durch Wanderung, Krümmung

*) Chromatellen. Systematische Phylogenie der Pflanzen, 1894, S. 298. Der Begriff „Chromatophoren" ist in der Zoologie längst für die selbständigen Pigmentzellen eingebürgert; erst viel später ist er von den Botanikern zur Bezeichnung einzelner Zellteile (Organelle) verwendet worden.

und Schleifenbildung innerhalb der Plasmakugel annehmen, erinnern vielfach an die ähnlichen Formen und Lagerungs-Verhältnisse der Chromosomen bei der Kernteilung der echten kernhaltigen Zellen. Es ist auch möglich, daß bei einem Teile der Chromaceen bereits Übergänge von der kernlosen Zytode (= „Urzelle") zur echten Zelle (= „Kernzelle") vorliegen, und daß diese stabförmigen Chromatelle Vorläufer der Chromosomen sind. Allein ein echter, morphologisch selbständiger Kern fehlt dennoch den Chromaceen ebenso wie den Bakterien und allen echten Moneren; das farblose kugelige „Zentralkorn" im Mittelpunkt der Plasmakugel ist noch kein wirklicher Nukleus! Wozu sollte er auch hier dienen, wo die ganze Lebenstätigkeit als „Wachstum" sich in einfachster Form abspielt und jede Spur sexueller Differenzierung fehlt? Außerdem wurde namentlich durch Alfred Fischer nachgewiesen, daß bei den einfachsten Formen der Kokkogoneen der ganze Chromatophor eine dünnwandige Hohlkugel ist, die ohne scharfe Grenze in das farblose „Zentralkorn" übergeht. Wie weit bei allen diesen einfachsten Lebensprozessen die „Kristallseele" der Chromatellen oder die „Zellseele" der Plastide beteiligt ist, bleibt weiteren psychomatischen Forschungen vorbehalten. Zu bemerken ist aber noch, daß bei manchen Chromaceen die polyedrischen Proteinkristalle quellungsfähig sind und als Kollokristalle ihr Volumen abwechselnd vergrößern und verkleinern können. Jedenfalls entstehen sie ursprünglich als Chromokristalle durch Kristallisation aus dem Plasma.

Bakterien. („Lebenswunder", 1904, Kap. 9, S. 227.) Die kleinsten und einfachst gebauten Lebensformen, die als Bakterien neuerdings das bevorzugte Gebiet einer besonderen biologischen Wissenschaft, der Bakteriologie, geworden sind, schließen sich in vielen Beziehungen eng an die vorhergehenden Chromaceen an. Auch bei den Bakterien ist das lebende Individuum im einfachsten Falle (Mikrokokkus) ein homogenes, kugelförmiges Plasmakorn von sehr geringer Größe, ohne inneren Kern; also eine kernlose Zytode, keine echte kernhaltige Zelle. Auch hier erfolgt die Fortpflanzung durch einfache Zweiteilung, ohne jede sexuelle Differenzierung. Wenn die beiden Teilhälften zusammenbleiben und sich abermals wiederholt teilen, entstehen durch fortgesetzte Hemitomie einfachste Coenobien. Diese sind kettenförmig (Katenal-Coenobien), wenn die Teilung in einer geraden Richtung des Raumes erfolgt (Streptokokkus); tafelförmig (Tabular-Coenobien), wenn sie in einer

Ebene, nach zwei Richtungen, erfolgt (Mikrokokkus); paketförmig, kubisch (Cubar-Coenobien), wenn sie in drei verschiedenen, aufeinander senkrechten Richtungen geschicht (Sarcina).

Bakterienformen. In der neueren, sehr umfangreichen Literatur der Bakteriologie sind sehr zahlreiche (über tausend) Arten dieser niedersten Organismen beschrieben worden. Ihre Unterscheidung gründet sich meistens auf ihr ökologisches oder bionomisches Verhalten zu anderen Organismen, ihre physiologische Bedeutung als Erreger der Gärung, Fäulnis, vieler Krankheiten usw. Im Gegensatz dazu sind ihre morphologischen Eigenschaften höchst einfach, sowohl was die äußere Form als die innere Struktur betrifft. Dabei muß vor allem die Individualität der solitären und der sozialen Bakterien unterschieden werden.

Zytode der Bakterien. Die Grundform des Individuums, der sogenannten „Bakterienzelle", richtiger der kernlosen Zytode, tritt eigentlich nur in zwei verschiedenen Gestalten auf: bei den Kugelbakterien (Coccaceen oder Sphaerobakterien) behält die Zytode die reine Kugelform (Homaxon, ohne differente Achsen); — bei den Stäbchenbakterien hingegen (Rhabdobakterien oder Bazillen im weiteren Sinne) geht die Kugel in die monaxone Form des Zylinders über, mit einer ausgeprägten Hauptachse. Dieses Stäbchen ist entweder gerade gestreckt (Eubazillen) oder sichelförmig gebogen (Kommabazillen) oder schraubenförmig gedreht (Spirillen oder Spirobakterien); die Formen mit schwacher Schraubendrehung werden als Vibrionen, andere mit vielen dichteren Schraubenwindungen als Spirochaeten unterschieden.

Bakterienseele. Die innere Struktur der Bakterien ist wegen der hohen Bedeutung, die sie als Erreger der gefährlichsten Krankheiten besitzen (Cholera, Typhus, Tuberkulose, Milzbrand usw.), sowie als Erreger der Fäulnis, Gärung, seit langer Zeit Gegenstand der sorgfältigsten Untersuchung gewesen. Insbesondere war man bemüht, in dem homogenen Plasmakörper einen Zellkern und andere, physiologisch wichtige Organelle nachzuweisen. Das Ergebnis dieser gründlichen Untersuchungen, die mit allen raffinierten Hilfsmitteln der modernen Mikroskopie und Chemie durchgeführt wurden, blieb rein negativ. Daraus folgt mit voller Sicherheit die Erkenntnis, die von denkenden Bakteriologen schon lange behauptet worden war, daß die merkwürdige physiologische und pathologische Bedeutung der Bakterien einzig und allein auf ihrer chemischen Beschaffenheit beruht, auf der komplizierten Zu-

sammensetzung ihres homogenen Plasmaleibes aus sehr zahlreichen Plastidulen. Deren physiologische Leistungen sind nur wieder zu erklären durch die spezifischen Fühlungen, die wir neben ihren spontanen Bewegungen als Attribute der Bakterienseele annehmen müssen. Da die Tausende von Bakterienarten schon seit Äonen die mannigfaltigsten Krankheitszustände des Menschen und der Tiere, der Pflanzen und Protisten hervorgerufen haben, müssen sie sich im Laufe von mehr als hundert Jahrmillionen in Anpassung an deren Stammesgeschichte entsprechend entwickelt haben, und diese phyletische Metamorphose kann nur in unsichtbaren chemischen Veränderungen ihrer Plastidul-Komposition bestehen.

Organelle der Bakterien. Das homogene Plasmakorn der Bakterien-Zytode vereinigt in sich die Eigenschaften, welche bei den echten, kernhaltigen Zellen auf das Karyoplasma des Zellkerns und das Zytoplasma des Zellenleibes verteilt sind. Es war daher ein müßiger Streit, als einige Forscher das Bakterienplasma auf Grund verschiedenen Verhaltens bei künstlicher Färbung als Kernsubstanz, andere als Zellsubstanz beurteilen wollten. Am besten bezeichnen wir dasselbe als Archiplasma (oder auch als „Plasson“). Als besondere Organelle, die erst sekundär aus der einfachen Zytode sich entwickelt haben, sind bei höher stehenden Bakterien die äußere dünne Zytodenhülle und die Geißelhaare, die vielen zur Ortsbewegung dienen, zu beurteilen. Das äußere Cythecium ist meistens nur eine sehr zarte Membran, durch Oberflächenspannung entstanden, nicht aus Zellulose bestehend. Bei vielen Bakterien wird nach außen eine strukturlose Gallerthülle abgeschieden; bei den sozialen Bakterien können zahlreiche, durch fortgesetzte Teilung entstandene Individuen in einer gemeinsamen Gallertmasse (Zoogloea) eingeschlossen bleiben. Die zarten Geißelhärchen, die bald einzeln, bald zu mehreren aus der Zytode vieler Bakterien hervorwachsen und ihre Schwimmbewegungen vermitteln, können als Organelle der Zytode betrachtet werden, die einerseits an die beweglichen Fortsätze mancher „wurmförmigen“ Rheokristalle, anderseits an die Geißeln der Flagellaten erinnern. Die einfachsten Formen der letzteren schließen sich auch in anderen Beziehungen den geißeltragenden Bakterien an, unterscheiden sich aber wesentlich durch den Besitz eines echten Zellkerns.

Bakterien und Chromaceen. Die nahen Verwandtschafts-Beziehungen dieser beiden Klassen — sowohl in morphologischer als in physiologischer Hinsicht — liegen zwar offen auf der Hand,

sie sind aber dennoch sehr verschieden beurteilt worden. Dasselbe gilt von ihren phylogenetischen Beziehungen zu anderen Protisten. Phylogenetisch betrachtet sind zweifellos die Bakterien erst durch Umkehrung des Stoffwechsels (Metasitismus) aus den älteren Chromaceen hervorgegangen. Der wesentlichste Unterschied beider Klassen liegt im Stoffwechsel. Die älteren Chromaceen sind plasmodom; sie besitzen das chemische Vermögen der Kohlenstoff-Assimilation und bauen aus anorganischen Substanzen, aus Wasser, Kohlensäure und Ammoniak, neue Kohlenhydrate und Plasma auf; danach wären sie als Pflanzen zu beurteilen: Phytomoneren.*) Die jüngeren Bakterien hingegen sind meistens plasmophag (mit Ausnahme der interessanten Nitrobakterien); sie entbehren jenes Vermögens und müssen ihre Nahrung aus anderen Organismen aufnehmen; demnach müßten sie als Tiere anzusehen sein: Zoomoneren.*) So hatte denn auch Gottfried Ehrenberg 1838 in seinem großen grundlegenden Werke: „Die Infusionstiere als vollkommene Organismen" die Bakterien den Infusorien angeschlossen. In konsequenter Anerkennung jenes wichtigen, physiologisch-chemischen Gegensatzes hatte ich auch in meiner „Systematischen Phylogenie der Protisten" (1894) die Bakterien den Protozoen zugeteilt und mit den kernlosen Rhizopoden (Lobomoneren und Rhizomoneren) in der Gruppe der Archezoa vereinigt. Indessen verliert dieser Antagonismus seinen schematischen Wert, wenn wir die Nitrobakterien als Übergangsformen zwischen beiden Klassen betrachten und auch ihren gemeinsamen Zytoden-Charakter betonen. Danach erscheint es zweckmäßiger, beide Klassen als Probionten zu vereinigen und den übrigen, kernführenden Protisten gegenüberzustellen.

Hemitomie (= Zweiteilung oder Halbierung, Dimidiation) = Zerfall eines individuellen Körpers durch Teilung in zwei gleiche Hälften. Diese einfachste und primitivste Form der Vermehrung, in gleicher Weise bei den Rheokristallen wie bei den niedersten Organismen auftretend, ist ein Vorgang von hoher prinzipieller Bedeutung in mehrfacher Beziehung. Die Hemitomie ist zwar auch, gleich allen anderen Arten der Monogonie (oder der „ungeschlechtlichen Fortpflanzung") auf ein „überschüssiges Wachstum" zurückzuführen. Diese „transgressive Kreszenz" unterscheidet sich aber von ihnen wesentlich dadurch, daß die beiden neuen, durch

*) Systematische Phylogenie der Protisten (Berlin 1894), S. 93—97 Protophyten; S. 133—137 Protozoen. — Archephyta S. 98; Archezoa S. 137.

Halbierung entstandenen Individuen in Größe und Beschaffenheit völlig gleich sind; keine von beiden Hälften kann als elterliche (parentale) angesehen und der neuen (filialen) entgegengesetzt werden. Daher kann man auch bei ihnen eigentlich noch nicht von „Vererbung“ sprechen; keines von den beiden neuen Indiduen hat nur einen bestimmten Teil als „Erbstück“ von dem halbierten Einzelwesen übernommen; dieses ist ganz in der Bildung der gleichartigen und gleichalterigen Individuen aufgegangen. Daher ist es auch unlogisch, von „Unsterblichkeit der Einzelligen“ zu sprechen. Hierin liegt auch der wesentliche Unterschied der Zweiteilung von der Knospung (Gemmation); hier löst sich ein kleinerer (filialer) Teil von dem größeren (parentalen) Teile ab und muß als jüngeres Singulat sich erst wieder durch Wachstum ergänzen, um den Wert des letzteren zu erreichen.

Molethynen-Arbeit. In der ausgezeichneten Abhandlung über die „Gattungen einzelliger Algen“, mit welcher Karl Naegeli schon 1849 den Grund zu unserer Kenntnis dieser hochinteressanten niedersten Pflanzen legte, hatte er bereits mit besonderem Nachdruck auf die verschiedenen Verhältnisse der Zweiteilung hingewiesen, welche die einzige Art der Fortpflanzung bei diesen niedersten „kernlosen Zellen“ darstellen. Er erkannte auch richtig die wichtigen Unterschiede in der daraus folgenden sozialen Anordnung der Zellen in den Coenobien (oder „Zellfamilien“). Danach sind von besonderer Wichtigkeit die Richtungen oder Teilungsebenen, in welchen der Zerfall der einfachen kugeligen Zelle sich vollzieht. Diese Unterscheidung gewinnt jetzt, wo wir die Probionten mit den Kristallen vergleichen können, für uns eine ganz besondere Bedeutung. Denn die Molethynen — die „molekularen Richtkräfte“ — welche die parallele Ordnung der beseelten Moleküle in den Kristallen bestimmen und deren physikalische „Anisotropie“ bedingen, sind ebenso wirksam bei der wiederholten Zweiteilung der Zytoden von Probionten, sowohl von Chromaceen als Bakterien. Dieselben Moletropismen oder Richtungsgesetze, die hier und auch bei vielen einzelligen Protisten die Zellteilung regeln, sind lediglich durch psychomatische Tätigkeit der individuellen Plastide bedingt; sie kehren aber auch wieder bei der Zellteilung in den Geweben der Histonn, hier jedoch mit dem wesentlichen Unterschiede, daß sie von den verwickelten Gesetzen der konservativen und progressiven Vererbung der sozial verbundenen Gewebzellen abhängig sind.

Wenn wir in dieser Beziehung die psychomatische Arbeit der Molethynen in den drei Richtungen des Raumes bei der Hemitomie der Probionten mit derjenigen bei der Kristallisation (sowohl der Sterrokristalle als auch der Biokristalle) vergleichen, so können wir die nachstehenden vier Hauptformen unterscheiden: I. Polythyne Hemitomie: Teilung der Plastide nach allen Richtungen des Raumes; Coenobien amorph oder kugelig. Dieselbe allseitige Teilbarkeit kehrt wieder im Wachstum vieler Gewebe. II. Cubothyne Hemitomie: Teilung der Plastide in den drei Richtungen des Raumes, senkrecht aufeinander; in den drei „Koordinaten-Achsen"; Coenobien kugelig oder kubisch. Dieselbe Form der Zweiteilung wiederholt sich bei der Vermehrung vieler Protisten sowie bei der äqualen Furchung; sie kehrt wieder im Wachstum vieler „Parenchymzellen" der Histonen. III. Plakothyne Hemitomie: Teilung der Plastide in einer Ebene, in zwei Richtungen des Raumes, senkrecht aufeinander. Coenobien tafelförmig, oft quadratische oder polygonale Platten. Dieselbe Form wiederholt sich in der flachen „Keimscheibe" vieler Metazoen mit discoidaler Eifurchung, sowie im Wachstum einschichtiger Epitelien. IV. Hormothyne Hemitomie: Teilung der Plastide wiederholt in einer einzigen Richtung des Raumes (Kettenbildung oder Katenation); Coenobien katenal (in Form von Ketten oder Perlschnüren, Katenen oder Hormen). Diese Form der sozialen Verkettung, typisch für die „fadenförmigen" Probionten und „Fadenalgen" (Confervalen), kehrt wieder in den verschiedensten Formen der „Haare" von Pflanzen und Tieren, sowie vieler „Fasern" und Gewebe.

Erotik (Sexualismus). Der wichtigste physiologische Charakter der Probionten ist der Mangel der sexuellen Differenzierung und Amphigonie. Dieses negative Merkmal steht in direktem Kausalzusammenhang mit ihrem wichtigsten morphologischen Charakter, der Abwesenheit des Zellkerns. Alle echten Probionten sind noch monogon, vollkommen geschlechtslos; es fehlt ihnen noch der Eros, die „Liebe" der beiden verschiedenen Geschlechter, der bedeutungsvolle Gegensatz des männlichen und weiblichen Prinzips. Wenn man erwägt, welche unendlich wichtige Rolle im Leben der Organismen die Amphigonie, die sexuelle Differenzierung mit allen ihren erotischen Konsequenzen spielt, so muß man anerkennen, daß die Probionten in dieser Beziehung näher den Kristallen stehen, als den Organismen. Diese Erwägung gewinnt besonders dann ein hohes Gewicht, wenn wir die psycho-

matische Bedeutung des Eros klar ins Auge fassen, die tiefgreifende Korrelation zwischen dem Seelenleben und dem Geschlechtsleben der Tiere und Pflanzen. Bei den höheren Tieren, vor allen den Stämmen der Wirbeltiere und Gliedertiere, bildet ebenso wie beim Menschen die „Hochzeit", der aktuelle Beginn der Geschlechtstätigkeit, die „hohe Zeit" des individuellen Lebens. Dieser Höhepunkt des Daseins, das höchste Lustgefühl, hat nicht allein die größte physiologische Bedeutung, weil dadurch allein die Erhaltung der Art in der Generationsfolge ermöglicht wird; sondern er ist auch die Quelle der mannigfaltigsten psychologischen und morphologischen Differenzierungen, insbesondere der verwickelten Ausbildung der „sekundären Sexualcharaktere", des Familienlebens (Brutpflege). Ganz ähnlich den höheren Tieren (Metazoen) verhalten sich darin die höheren Pflanzen (Metaphyten), und wir dürfen mit Sicherheit annehmen, daß auch bei ihnen dieser Kulminationspunkt der individuellen Existenz — die „Blütezeit" des Lebens — mit den höchsten Lustgefühlen verknüpft ist. Wenn bei den Blumen der lange Pollenschlauch den Kanal des Stempels durchwandern muß, um in die Samenknospe einzudringen, wenn ebenso bei den Farnen und Moosen die beweglichen Spermazellen der Antheridien durch den engen Hals der Archegonien hindurchkriechen müssen, um in deren Grunde die Eizelle aufzufinden, so ist dieser physiologische Vorgang der Befruchtung auch hier eine Folge des erotischen Chemotropismus*), der spezifischen „sexuellen" Sinnestätigkeit. Der Ursprung dieser geschlechtlichen Differenzierung wird uns vollkommen erklärt durch die Vergleichung der höheren und niederen Pflanzen. Denn bei vielen einzelligen Protophyten und ebenso auch bei den niedersten Algen besteht noch heute Isogamie, die Kopulation von zwei gleichartigen Keimzellen (Gameten); erst wenn diese sich sondern, wenn die größere Makrospore zur „Eizelle", die bewegliche kleinere Mikrospore zur „Spermazelle" wird, entsteht wirklicher Sexualismus.

Probiontik und Geologie. Die kritische unbefangene Vergleichung der Probionten, einerseits mit den Rheokristallen, anderseits mit den einzelligen niedersten Protisten, hat uns zu der Überzeugung geführt, daß diese kernlosen Zytoden — als wirkliche „Organismen ohne Organisation" — eine vollkommene Brücke

*) Erotischer Chemotropismus und „Sexuelle Wahlverwandtschaft". Vgl. meine „Anthropogenie" (Entwicklungsgeschichte des Menschen) 1874; 6. Aufl. 1910, 29. Vortrag, S. 875.

zwischen den beiden Reichen der anorganischen und der organischen Natur herstellen. Diese verbindende Mittelstellung zwischen den „leblosen“ Anorganen und den „belebten“ Organismen gilt nicht nur in morphologischer und physiologischer, in chemischer und physikalischer Beziehung, sondern auch in historischer Hinsicht. Demnach könnte die moderne Geologie in der Lebensgeschichte unseres Erdballs folgende vier Perioden unterscheiden: I. Die anorganische Erdgeschichte, von der Singulation des Planeten (durch Ablösung von der Mutter Sonne) bis zur Entstehung des flüssigen Wassers und später der ersten höher zusammengesetzten Karbon-Verbindungen. II. die probiontische Erdgeschichte: Bildung des Plasma, der ersten „lebendigen Substanz“, durch Katalyse kolloidaler Kohlenstoff-Verbindungen; und Singulation durch Bildung von Zytoden (kernlos und geschlechtslos; Vermehrung durch einfache Zweiteilung). III. Die protistische Erdgeschichte, Entstehung der ältesten Zellen (kernhaltiger Plastiden) durch Sonderung des primären Plasma in äußeren Zellenleib (Cytoplasma) und inneren Zellkern (Karyoplasma). Sowohl die älteren plasmodomen Protophyten, als die jüngeren plasmophagen Protozoen — aus letzteren durch Metasitismus (Umkehrung des Stoffwechsels) entstanden — lebten anfangs isoliert, bildeten dann aber Zellvereine (Coenobien). Vermehrung sowohl durch Zweiteilung, wie durch Isogamie. (Kopulation von zwei gleichen Zellen: Gameten.) Indem sich ein Gegensatz zwischen den beiden kopulierenden Gameten ausbildete, verwandelte sich (durch sexuelle Arbeitsteilung) die größere Makrospore in die Eizelle, die kleinere Mikrospore in die Spermazelle. Mit diesem sexuellen Antagonismus entwickelte sich das wichtige psychomatische Verhältnis der „Liebe“, die mächtigste Triebfeder zu höheren seelischen Entwicklungen. IV. Die histonische Erdgeschichte; Bildung von Geweben durch engeren Zusammenschluß von Zellvereinen (Coenobien) und Differenzierung der verwachsenden Zellen. Als zwei verschiedene Reiche von Webingen (Histonen) entwickelten sich divergierend einerseits die plasmodomen Gewebpflanzen (Metaphyta), anderseits die plasmophagen Gewebtiere (Metazoa). In beiden Reichen nahm der Fortschritt der Erotik — und damit die höhere Ausbildung der Psychomatik — einen analogen Verlauf.

Drittes Kapitel:

Radiotik (= Strahlingskunde).

Aufgabe der Radiotik. Dieser neue Zweig der Biologie, der wegen seiner mehrfachen Beziehung zur Kristallotik für das Verständnis der „Kristallseelen" ganz besondere Bedeutung besitzt, umfaßt die gesamte Naturgeschichte der Radiolarien oder „Strahlinge". Obgleich unsere Radiotik reich an merkwürdigen Tatsachen und fruchtbar an weitreichenden allgemeinen Erkenntnissen ist, hat sie doch in weiteren Kreisen bisher sehr geringe Beachtung gefunden; selbst die wenigen Naturforscher, die sich damit eingehender beschäftigten, haben nur einen kleinen Teil dieser unerschöpflichen Schatzkammer ausgebeutet. Insbesondere ist derjenige Teil ihrer Physiologie, der uns hier ganz besonders interessiert, die Zellseele der Strahlinge, ihr primitives „Fühlen und Wollen", bisher kaum gewürdigt worden. Ich selbst betrachte es als eine ganz besondere Gunst des Schicksals, daß mir diese „neue Welt des mikroskopischen Lebens" schon vor sechzig Jahren bekannt wurde, und ich volle dreißig Jahre hindurch mit ihrer speziellen Erforschung mich andauernd beschäftigen konnte.

Die gewaltige Arbeitsteilung der Naturforschung, welche die neuen Entdeckungen in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts herbeiführten, hat namentlich in der Zoologie die Sonderung vieler einzelnen Zweige veranlaßt. Mit demselben Rechte, mit dem die Entomologen die Insektenkunde, die Ornithologen die Vogelkunde als eigenes, mit besonderen Mitteln zu erforschendes Spezialfach pflegen, haben wir die Protistenkunde als Spezialwissenschaft (1866) abgesondert (die Naturgeschichte der einzelligen Lebensformen), und innerhalb dieser wieder die Radiotik.

Psychomatik der Radiolarien. Die allgemeine organische Reizbarkeit, welche die Zellseele der Radiolarien mit allen Protisten teilt, ihr Unterscheidungs-Vermögen gegen verschiedene Reize: 1. Druck, 2. Wärme, 3. Licht, 4. Chemische Zusammensetzung

des Meerwassers, — habe ich in meiner „Allgemeinen Naturgeschichte der Radiolarien“ (1887, § 224) besprochen; im Anschluß an die Betrachtungen, die ich schon 25 Jahre früher in der ersten Monographie derselben (1862, S. 128—131) angestellt hatte. „Die Reaktion auf diese Reize, entsprechend der Empfindung von Lust oder Unlust, welche sie hervorrufen, äußert sich reflektorisch

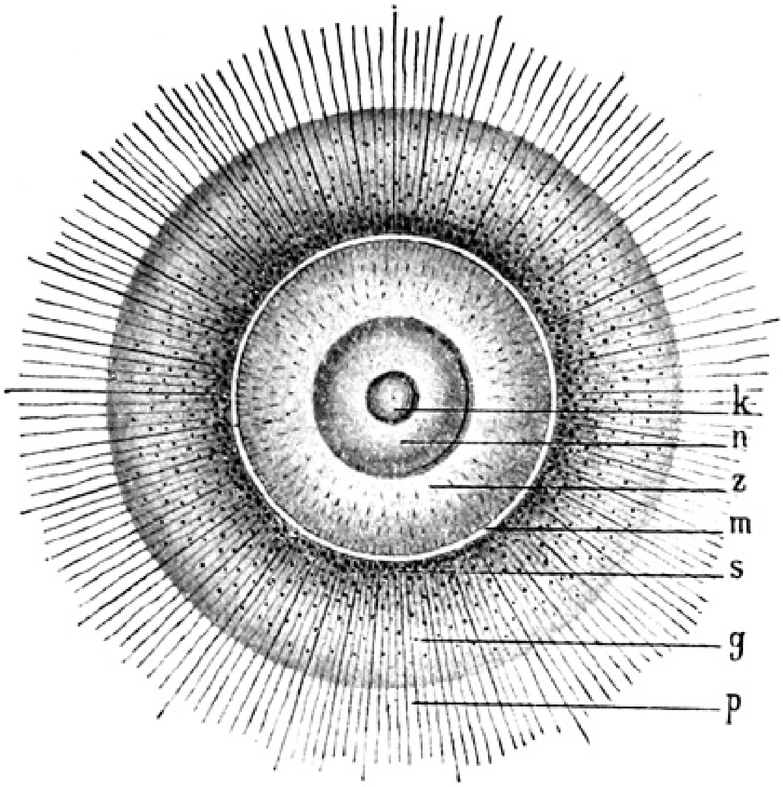


Fig. 25. Actissa radiata
(lebend in Rhodos beobachtet 1887).
Die Urform der Radiolarien, von der alle anderen Formen der Klasse phyletisch abgeleitet werden können. Der nackte (nicht von einer festen Schale umschlossene) einzellige Körper besteht aus konzentrischen Kugeln: der Zellkern (*n*) umschließt ein zentrales Kernkörperchen (*k*); der eigentliche Zellenleib (*z*) ist durch die feste Membran der Zentralkapsel (*m*) von der weichen umschließenden Gallerthülle (Kalymma, *g*) getrennt. Unzählige feine Plasmafäden (Pseupodien) treten aus dem Zellenleibe aus, durchsetzen die Membran (mittels feiner Poren) und strahlen von der Sarkode-Schicht (*s*) frei nach allen Richtungen aus.

in verschiedenen Bewegungsformen des Protoplasma: Veränderung der Saftströmung in demselben, Kontraktion der Zentralkapsel, Veränderungen der Größe, Lage und Form der Pseudopodien sowie des Kalymma-Volumen (durch Austritt von Wasser) usw.“ Als eine besondere Empfindungsfunktion der Radiolarien habe ich aber außerdem noch ihr sehr entwickeltes „hydrostatisches Gleichgewichtsgefühl“ hervorgehoben, sowie das „plastische

Distanzgefühl", welches in der Produktion der regulären Gittermaschen und anderer regulär geformter Skeletteile zu auffallendem Ausdruck gelangt" (1887, S. 21). Diese beiden psychomatischen Erscheinungen sind von großer spezieller Bedeutung für die mechanische Erklärung ihrer höchst mannigfaltigen Gestaltung und zugleich von so hohem allgemeinen Interesse (auch für die Vergleichung mit den ähnlichen Gefühlsäußerungen der Kristalle), daß sie hier noch eine nähere Betrachtung verdienen.

Statotaxis. Gleichgewichtsgefühl. Alle Radiolarien leben schwebend im Meere und haben offenbar das höchste Lustgefühl, wenn sie in einer bestimmten Stellung und Haltung ihres einzelligen Körpers ein gewisses Gleichgewicht einhalten können. Sie strecken dann, unbehelligt von äußeren Hindernissen, nach allen Richtungen frei ihre Pseudopodien aus, welche als feine Sinnesorgane zur Wahrnehmung und als geschickte Fangorgane zum Ergreifen ihrer Beute dienen, der Diatomeen und Peridinien, Flagellaten und Infusorien usw. Da diese Pseudopodien, als zähflüssige und veränderliche Fortsätze des Cytoplasma, keine weitere Differenzierung erkennen lassen, können wir direkt nur wenig über ihre Fühlungsfunktionen erfahren. Wir können aber um so mehr indirekt erschließen aus dem höchst mannigfaltigen und verwickelten Bau ihrer Skelette, die von den Pseudopodien aufgebaut werden. Die auffällige Ähnlichkeit, die diese Kieselskelette und Coelestinskelette im feinen regelmäßigen Bau mit den Kristallen zeigen, berechtigt uns zu der Vermutung, daß auch hier, wie dort, ähnliche Molekularkräfte (unbewußte Richtkräfte der „Molethynen") tätig sind.

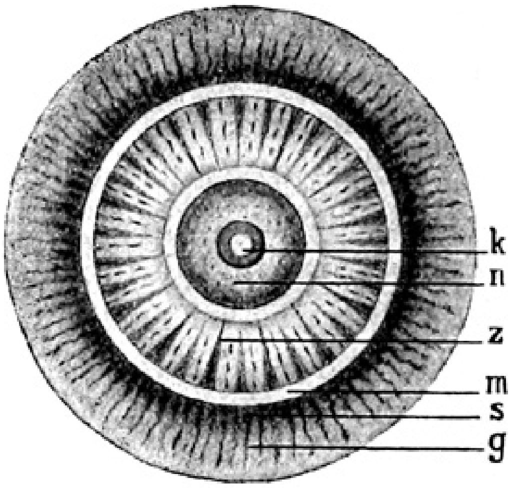


Fig. 26. **Actissa radiata** (dieselbe Form tot, durch Chromsäure getötet und gefärbt). Die allseitig ausstrahlenden Pseudopodien haben ihre Bewegungen eingestellt und sind in das Innere zurückgezogen. Die weiche Gallerthülle (*g*) ist stark zusammengezogen. Innerhalb der Zentralkapsel zeigt das Cytoplasma deutliche Radialstruktur.

Actissa, die Urform der Radiolarien, aus der sich alle fünftausend Formen dieser gestaltenreichen Klasse phylogenetisch ableiten lassen, ist eine einfache kugelige Zelle. Wie bei allen

anderen Rhizopoden dieser Klasse ist der einzellige Organismus dadurch ausgezeichnet, daß eine feste Membran die innere Masse, die Zentralkapsel, von einer äußeren Gallerthülle, dem Kalymma, trennt. In der Mitte des Endoplasma, das die Kapsel erfüllt, liegt der kugelige Zellkern. Das Exoplasma, das die Kapsel äußerlich als Sarcomatrix überzieht, strahlt nach allen Richtungen unzählige feine Fäden aus, die Pseudopodien, welche die Gallerthülle des Kalymma durchsetzen und als Organelle der Fühlung und Ernährung frei in das Meerwasser hervortreten.

Der Actissa nächst verwandt und ebenfalls sehr interessant ist die weitverbreitete Heliozoen-Form des süßen Wassers, Actinosphaerium, über deren Zellenleben uns neuerdings die genauen Beobachtungen und Experimente von Richard Hertwig wichtige Aufschlüsse gegeben haben. Auch sein kugeliger Zellenkörper zeigt die Sonderung in zwei verschiedene Teile, das innere kernhaltige Endoplasma und das äußere schaumige und kernfreie Exoplasma. Es fehlt hier aber noch die charakteristische Membran, welche als „Zentralkapsel" beide Teile trennt und das wichtigste Charaktermerkmal der Radiolarien darstellt. Diese Kapselmembran ist bei der ersten Subklasse, den Porulosen (= Holotrypasta) von unzähligen feinen Poren durchbrochen, welche die direkte Verbindung des inneren und äußeren Plasmakörpers vermitteln. Bei der zweiten Subklasse, den Osculosen (= Merotrypasta) ist nur eine größere Öffnung (Osculum) in der Membran vorhanden; durch diese tritt ein Bündel von Pseudopodien aus.

Wie bei den Probionten der Chroococcus, so verdient bei den Radiolarien die Actissa als einfachster Prototypus ganz besondere Beachtung. Denn diese primitiven „Urformen", die nicht nur das ideale Urbild einer ganzen formenreichen Klasse, sondern auch das reale Abbild ihrer gemeinsamen hypothetischen Stammform darstellen, zeigen uns den phyletischen Weg, auf welchem sich die wunderbaren Einzelformen im Laufe von mehr als hundert Jahrmillionen entwickelt haben. Fossile Radiolarien, und zwar vorwiegend die Kieselskelette von Spumellarien des regulären Kristallsystems, sind vielfach versteinert in sedimentären Gebirgsschichten jüngerer und älterer Perioden, neuerdings sogar in den ältesten Ablagerungen des kambrischen und präkambrischen Systems gefunden worden. Aus der vergleichenden morphologischen Analyse und phyletischen Deutung ihrer Biokristall-Formen können wir Schlüsse ziehen auf die historische Entwick-

lung des einfachen kugelförmigen Zellenkörpers, dessen flüssige Ausstrahlungen diese geometrisch konstruierten Skelette gebildet haben, und auf die psychomatische Tätigkeit ihrer „fühlenden und wollenden Zellseele". Besonders lehrreich sind in dieser Beziehung die älteren und einfacher gebauten Porulosen (Spumellarien und Acantharien). Die jüngeren Osculosen (Nassellarien und Phaeodarien) zeigen eine verwickeltere Organisation; die Zentralkapsel nimmt hier eine einachsige Form an, während sie bei den Porulosen meistens die ursprüngliche gleichachsige Kugelform bewahrt.

Zwei Subklassen und vier Legionen der Strahlinge
(Radiolaria).

I. und II. Legion: **Porulosa** (Holotrypasta).	III. und IV. Legion: **Osculosa** (Merotrypasta).
Zentralkapsel polyaxon, ohne Hauptöffnung, von zahllosen feinen Poren durchbrochen.	Zentralkapsel monaxon, mit einer Hauptöffnung am Basalpol der vertikalen Hauptachse.
I. Legion: **Spumellaria** (Schaumstrahlinge = Peripylea). Zentralkapsel ursprünglich kugelig, mit zentralem Kern: — Membran von zahllosen gleichmäßig verteilten Poren durchsetzt, aus denen die Plasmafäden austreten. Skelett kieselig (selten fehlend), niemals zentrogen. Biokristall-Charakter regulär. Fig. 27—29 (Taf. C, Fig. 1—5 und 8).	III. Legion: **Nassellaria** (Korbstrahlinge = Monopylea). Zentralkapsel ursprünglich eiförmig, mit exzentrischem Kern. Osculum (basale Hauptöffnung) mit einem Porenfeld (Porochora), aus dessen Siebdeckel ein Bündel von Plasmafäden austritt. Skelett kieselig (selten fehlend), niemals zentrogen. Biokristall-Charakter monaxon. Fig. 37 (und Taf. C, Fig. 6, 9, 10).
II. Legion: **Acantharia** (Sternstrahlinge = Actipylea). Zentralkapsel ursprünglich kugelig, mit exzentrischem Kern. Membran von zahlreichen regelmäßig geordneten Poren durchsetzt, aus denen die Plasmafäden austreten. Skelett aus Acanthin oder Coelestin gebildet, stets zentrogen (vom Mittelpunkt ausgehend). Biokristall-Charakter tetragonal. Fig. 31—36.	IV. Legion: **Phaeodaria** (Rohrstrahlinge = Cannopylea). Zentralkapsel sphäroidal, mit zentralem Kern. — Osculum (basale Hauptöffnung) mit einem Sterndeckel (Astropyle), aus dessen Mündungsrohr (Canna) ein Plasmastrom austritt. Skelett ein karbonisches Silikat, niemals zentrogen. Biokristall-Charakter polymorph. Fig. 38—39.

Erklärung der Tafel C.

Die Tafel C zeigt nebeneinander zehn verschiedene Radiolarien, stark vergrößert, Vertreter von drei Legionen: Fig. 1—5 und 8: Spumellaria; — Fig. 6, 9, 10: Nassellaria; — Fig. 7: Phäodaria.

Fig. 1. Rhizosphaera leptomita (Sphaeroidea). Die kugelige Gitterschale ist (geometrisch betrachtet) ein subreguläres endosphärisches Polyeder, von dessen Ecken kurze, spitze Radialstacheln ausgehen. Durch die Maschen ihres irregulären Kieselnetzwerks strahlen unzählige feine Plasmafäden aus (Pseudopodien), die von der inneren konzentrischen Zentralkapsel ausgehen.

Fig. 2. Sphaerozoum ovodimare (Sphaeroidea). Das kugelförmige Coenobium ist im Meridiandurchschnitt gesehen. An seiner Oberfläche sind zwölf linsenförmig abgeplattete Zentralkapseln sichtbar, zwischen ihnen kleine helle Punkte: einzellige gelbe Protophyten (Zooxanthellen), die in Symbiose mit den Radiolarien leben. Feine kristalline Kieselnadeln (Spicula, ähnlich wie Fig. 40, 41) sind im Zellverein überall zerstreut. Die kugeligen Blasen in der Gallertmasse des sphärischen Zellvereins sind mit Seewasser gefüllte Alveolen.

Fig. 3. Actinomma drymodes (Sphaeroidea). Die gegitterte Kieselschale ist aus drei konzentrischen Kugeln zusammengesetzt, welche durch sechs starke Radialstäbe verbunden sind; diese liegen in drei aufeinander senkrechten Durchmessern, entsprechend den drei Achsen des tesseralen Kristallsystems. Außerdem entspringen von der Außenfläche der äußersten (größten und jüngsten) Gitterschale sehr zahlreiche haarfeine radiale Kieselstacheln, die am Außenende doppelt gabelspaltig sind.

Fig. 4: Lithomespilus flammabundus (Prunoidea). Die eiförmige einachsige Gitterschale trägt am unteren Pole der Achse einen starken, am oberen mehrere schwächere Kieselstacheln.

Fig. 5. Ommatocampe nereides (Prunoidea). Die gegliederte Kieselschale besteht aus sechs halbkugeligen Kammern, die sich (oben und unten je drei) an die ursprüngliche zentrale Gitterkugel angesetzt haben.

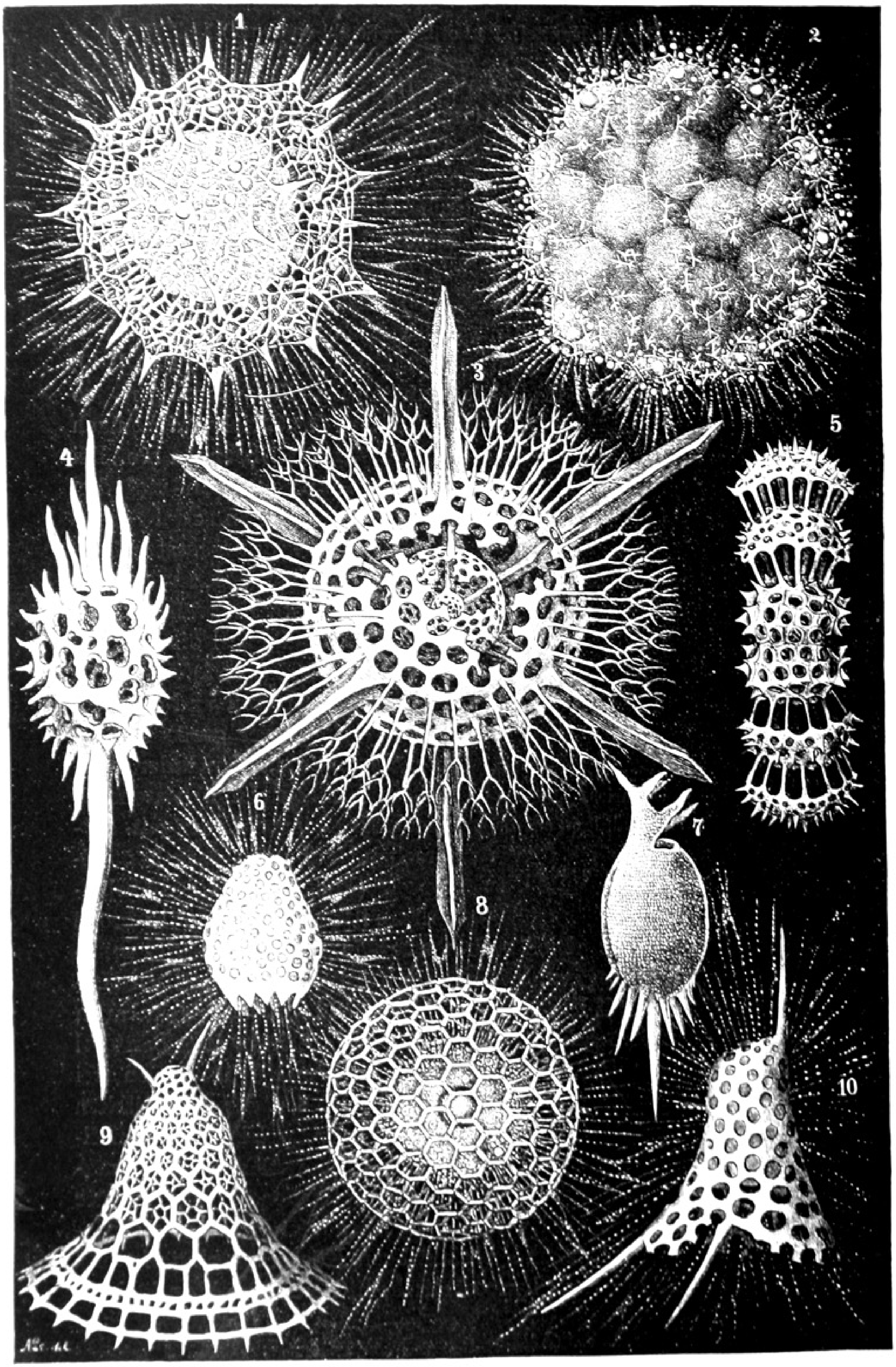
Fig. 6. Carpocanium diadema (Nassellaria). Die eiförmige Gitterschale, deren untere Mündung einen Kranz von Zähnen trägt, strahlt nach allen Richtungen Pseudopodien aus.

Fig. 7. Challengeron Willemoesi (Phaeodaria). Die eiförmige Gitterschale zeigt eine äußerst feine Diatomeenstruktur (wie Fig. 50) und ist an der nach oben gekehrten Mündung mit einem fünfzackigen Zahn bewaffnet.

Fig. 8. Heliosphaera inermis (Sphaeroidea). Die einfache kugelige Kieselschale besteht aus einem Netzwerk von regelmäßig sechseckigen Maschen. Von der eingeschlossenen konzentrischen Zentralkapsel strahlen unzählige haarfeine Plasmafäden aus, welche durch die Maschen des endosphärischen Polyeders austreten.

Fig. 9. Clathrocyclas Jonis (Nassellaria). Die glockenförmige Gitterschale trägt oben am Köpfchen zwei Gipfelstacheln, unten an der weiten Mündung der Glocke einen zierlichen Maschenring mit Stachelkranz.

Fig. 10. Dictyophimus tripus (Nassellaria). Die helmförmige Gitterschale wird durch vier radiale Kieselstacheln gestützt, die im Innern zusammentreffen (gleich den Flächenachsen eines Tetraeders); die drei unteren entsprechen den Kanten einer dreiseitigen Pyramide, während der vierte oben ihren Gipfel krönt. Zahlreiche haarfeine Pseudopodien strahlen von der eingeschlossenen Zentralkapsel aus.



Künstlerische Arbeiten der Radiolarien Seele.

Psychom der Spumellarien (Peripylea). Diese erste Legion der Radiolarien enthält die ursprünglichsten und ältesten Formen, an der Wurzel des ganzen Stammes die kugelförmige skelettlose Actissa, von der sich alle übrigen Formen der „Strahlinge" sowohl morphologisch wie phylogenetisch ableiten lassen. Die meisten Spumellarien bilden als Schutzorganell ihrer Zentralkapsel eine äußere Gitterschale oder mehrere konzentrische, durch Radialstäbe verbundene Gitterschalen. Wenn diese Stäbe außerhalb nicht vorspringen, bleibt das ursprünglich labile oder indifferente Gleichgewicht des kugeligen Körpers erhalten (Taf. C, S. 67, Fig. 1, 8). Wenn dagegen die Radialstacheln außerhalb vorspringen, so ändert sich das Gleichgewicht nach verschiedenen Richtungen hin. Bei den Stylosphaeriden und den Prunoideen wachsen zwei große Stacheln in entgegengesetzter Richtung hervor und bestimmen eine vertikale Hauptachse, während die kugelige Zentralkapsel oft ellipsoid wird (Taf. C, Fig. 4, 5). Bei den Staurosphaeriden und den Discoideen bilden vier große Hauptstacheln, in zwei aufeinander senkrechten Horizontalachsen stehend, eine Linse oder Scheibe mit entsprechend abgeflachter Zentralkapsel. (Fig. 27.) Bei den Cubosphaeriden springen sechs große Hauptstacheln von gleicher Größe vor, in drei aufeinander senkrechten Ebenen liegend, wie die drei Achsen des regulären Kristallsystems (Taf. C, Fig. 3). Bei den Larcoideen endlich sind auch in der kompliziert gebauten lentelliptischen Schale dieselben drei Richtachsen ausgeprägt, aber von verschiedener Größe in den drei Raum-Dimensionen (wie bei den Sterrokristallen des rhombischen Systems). Die mannigfaltigen Modifikationen, welche diese Umbildung der einfachen Kugelschalen und ihrer äußeren Anhänge (Schutzorgane und Schwebeapparate) in den verschiedenen Familien der Spumellarien zeigt, sind offenbar mit bedeutenden Lageveränderungen des frei schwebenden einzelligen Körpers verknüpft und durch Wechsel in dessen hydrostatischem Gleichgewichtsgefühl be-

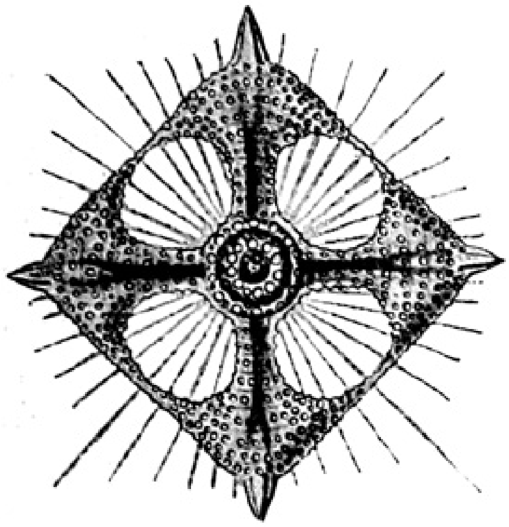


Fig. 27. Stephanastrum quadratum (Spumellaria).
Eine regulär vierstrahlige Scheibe, mit vier kreuzständigen Armen, deren Flügel sich zu einem Kranz verbinden.

dingt.*) Sehr häufig sind unter den scheibenförmigen Discoideen dreistrahlige Formen, bei denen drei gleiche Arme unter gleichen Winkeln von 120° vom Rande der Schale abgehen und in deren Mittelebene sich entwickeln (Fig. 28). Andere Scheiben sind regelmäßig sechsstrahlig, ähnlich gewissen Schneekristallen (Fig. 29). Wenn man diese mathematisch regulären Formen der Discoideen mit den ähnlichen Formen der Schneekristalle (Taf. B, S. 13) kritisch vergleicht, wird man im Aufbau der Moleküle, und also auch in der plastischen Arbeit ihrer Molethynen (der „molekularen Richtkräfte") keinen prinzipiellen Unterschied entdecken können. Die hexaradialen Scheiben (Fig. 29) entsprechen den holoedri-

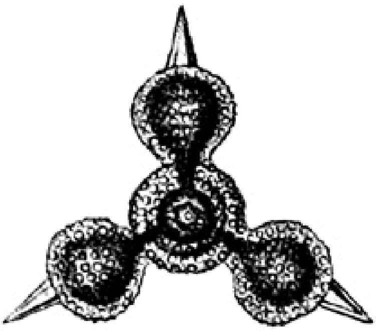


Fig. 28. **Rhopalastrum trispinosum** (Spumellaria). Eine regulär dreistrahlige Scheibe, mit drei kolbenförmigen und dolchartig zugespitzten Armen.

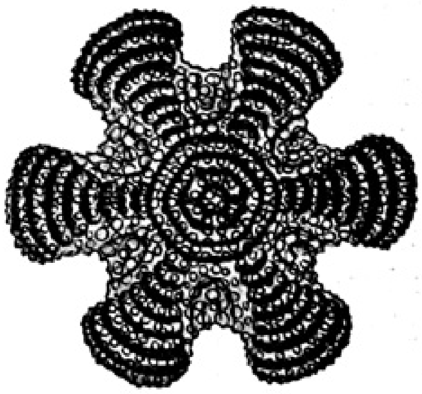


Fig. 29. **Hexinastrum geryonidum** (Spumellaria). Eine regulär sechsstrahlige Scheibe, mit sechs flügelförmigen, durch eine Schwimmhaut verbundenen Armen.

schen, die triradialen Formen (Fig. 28) den hemiedrischen Schneekristallen des hexagonalen Systems

Psychom der Acantharien (Actipylea). Diese zweite, für die Psychomatik der Protisten ganz besonders interessante Legion der Radiolarien nimmt zwar auch, gleich den Spumellarien, ihren Ausgang von der einfachen Kugelzelle der Actissa; sie unterscheidet sich aber von ihnen, wie von allen anderen Gruppen dieser Klasse durch mehrere auffallende Eigentümlichkeiten. Bei diesen letzteren ist das Skelett stets perigen, entsteht ursprünglich außerhalb der Zentralkapsel und geht niemals vom Zentrum der Zellenkugel aus. Dagegen besteht das Skelett aller Akantharien ursprünglich aus vielen Radialstacheln, die vom Mittelpunkt der Kugel aus-

*) Vgl. hierzu Taf. 1—50 der „Challenger-Radiolarien", und Taf. 11, 51, 91 der „Kunstformen der Natur".

gehen; es ist zentrogen, wie ein Sphärokristall. Infolgedessen wird der Zellenkern, der ursprünglich stets in der Mitte liegt, aus derselben verdrängt; er wird exzentrisch. Ein weiterer Unterschied besteht in der chemischen Beschaffenheit des Skeletts; es wird hier nicht aus Kieselerde gebildet (wie bei den drei anderen Legionen), sondern entweder aus einer eigenartigen organischen Substanz (Acanthin) oder aus Coelestin (Strontium-Sulfat) oder aus einer Verbindung von beiden. Die Pseudopodien strahlen zwar auch hier, wie bei den Spumellarien, in sehr großer Zahl von der Zentralkapsel aus; aber nicht regellos, sondern in bestimmte Reihen oder Büschel zwischen den Stachelstrahlen geordnet (Fig. 31). Entsprechend sind die zahlreichen Poren in der Kapselmembran, durch welche die Pseudopodien austreten, nicht überall gleichmäßig verteilt, sondern auf bestimmte Linien oder netzförmig verbundene Felder beschränkt.

Die Phylogenie der Akantharien bietet sowohl in morphologischer wie in physiologischer und in psychologischer Beziehung ein ganz besonderes Interesse dar. Die Zellseele offenbart hier einen so hohen Grad von feiner Empfindung (besonders von plastischem Distanzgefühl), und zugleich von so entschiedener Willenstätigkeit beim Aufbau ihres Skelettes, daß eine eingehende Psychomatik dieser einzelligen Protisten selbst für die Lösung vieler allgemeinen Fragen Aufschlüsse geben kann. Anderseits ist gerade hier die äußere Ähnlichkeit des Organismus mit starren Kristallen, und die innere Übereinstimmung der Molethynen (der „molekularen Richtungskräfte") mit den flüssigen Kristallen so auffällig, daß ein weiteres intensives Studium noch viele interessante Früchte verspricht.

Die formenreiche Legion der Akantharien umfaßt zwölf verschiedene Familien, die sich auf zwei Ordnungen verteilen, die Akanthometren und Acanthophrakten. Bei den ersteren wird das Skelett bloß aus Radialstacheln gebildet, die vom Mittelpunkt der Zentralkapsel ausstrahlen (Fig. 30, 31). Bei den letzteren kommt dazu noch eine äußere Gitterschale, welche durch tangentiale Fortsätze der Radialstäbe gebildet wird und die Kapsel schützend umschließt (Fig. 32—36).

Als gemeinsame Stammform aller Akantharien kann Actinelius betrachtet werden, ein Sternchen mit zahlreichen, unbestimmt geordneten Strahlen, die vom Mittelpunkt der kugeligen Kapsel ausgehen. Man könnte ihn entweder von Actissa oder von Actino-

sphärium ableiten, durch Erhärtung eines Teiles der zentifugalen Pseudopodien. Während bei diesen niedersten **Astrolophiden**, die den Radialbau eines anorganischen Sphärokristalls zeigen, die Zahl und Anordnung der Radialstäbe noch ganz unbestimmt ist, werden sie dagegen bei den **Akanthoniden**, und überhaupt der großen Mehrzahl der Akantharien, nach einem merkwürdigen,

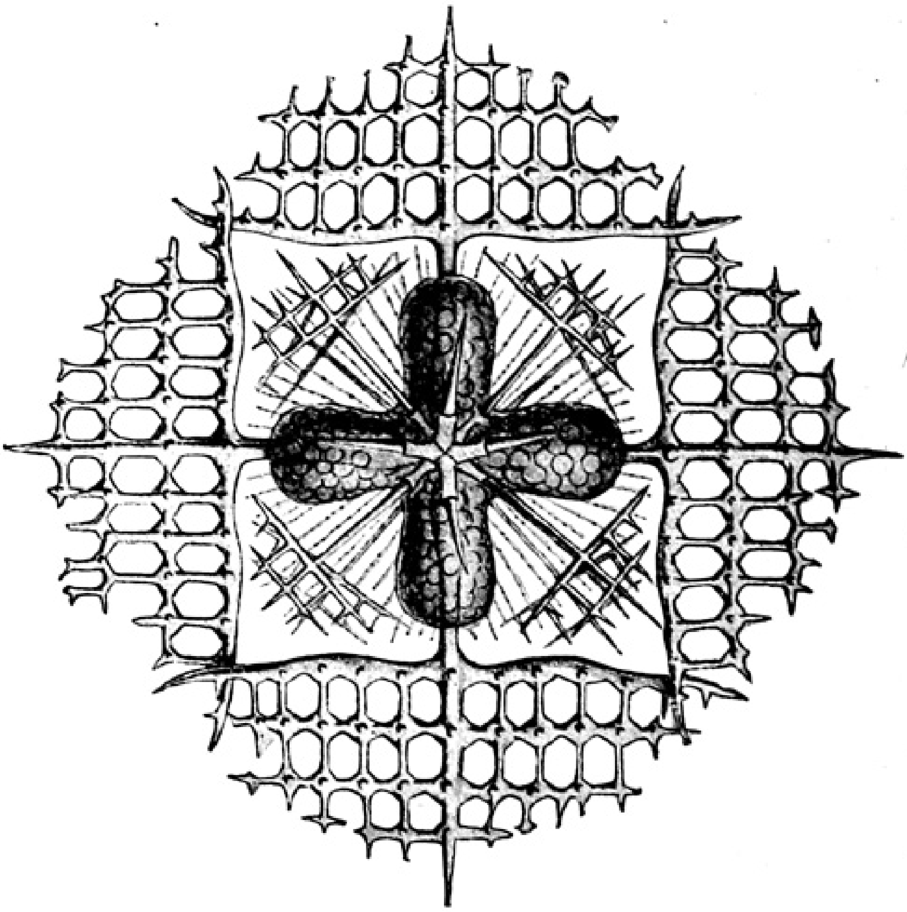


Fig. 30. **Lithoptera dodecaptera** (Acantharia).
Eine Acanthometra, deren 20 Radialstacheln nach dem Icosacanthen-Gesetze von Johannes Müller regelmäßig auf fünf Parallelkreise von je vier kreuzständigen Stacheln verteilt sind. Die vier starken Äquatorialstacheln sind größer und tragen am Ende einen breiten Gitterflügel. Die acht Tropenstacheln, mit ihnen alternierend, schwächer, tragen einen kleinen Gitterflügel. Die acht Polarstacheln sind klein und einfach. In der Mitte die kreuzförmige vierlappige Zentralkapsel.

ganz bestimmten Gesetze geordnet, das schon von dem Begründer der ganzen Klasse, Johannes Müller, entdeckt und ihm zu Ehren von mir das „Müllersche Stellungsgesetz“ genannt wurde (oder auch das „**Icosacanthengesetz**“) (Fig. 30). Immer sind hier ursprünglich an dem schwebenden einzelligen Körper zwanzig Radialstacheln ausgebildet, die in fünf Gürtel von je vier Strahlen verteilt sind. Zum anschaulichen Verständnis dieser merkwür-

digen, streng erblichen Anordnung dient der Vergleich mit einem Erdglobus, auf dessen Oberfläche fünf Parallelkreise eingezeichnet sind, der horizontale Äquator und beiderseits desselben zwei Tropenkreise und zwei Polarkreise. Wenn man nun den Globus von oben (vom Nordpol) betrachtet, so ist seine senkrecht stehende Achse stachellos. Dagegen liegen in der Ebene des Äquator vier Stacheln in zwei aufeinander senkrechten Durchmessern (diese sind oft größer und anders gestaltet als die sechzehn anderen). Zu beiden Seiten der Äquatorialebene stehen je vier Stacheln, deren Spitzen in die Tropenkreise fallen, und weiter aufwärts und abwärts je vier Stacheln, deren Spitzen in die Polarkreise fallen. Diese fünf Parallelen alternieren regelmäßig miteinander, so daß die vier äquatorialen und die acht polaren Stacheln in denselben zwei senkrechten Meridianebenen liegen, die sich rechtwinklig kreuzen. Dagegen liegen die acht tropischen Stacheln in zwei rechtwinklig sich schneidenden Meridianebenen, welche die ersteren unter einem Winkel von 45° schneiden.

Akanthoniden. Die Akanthometren mit zwanzig Radialstacheln, die stets nach dem konstanten Icosacanthen-Gesetze in regelmäßiger geometrischer Stellung verteilt sind, fassen wir in der Unterordnung der Akanthoniden zusammen; sie bieten in ihrer vielgestaltigen Entwicklung eine große Zahl von merkwürdigen Erscheinungen, die sowohl in morphologischer Beziehung für die Kristallographie und Geometrie, wie in physiologischer Beziehung für die Psychologie und Biogenie von hohem Interesse sind (Fig. 31). Die Gruppe der Akanthoniden zerfällt in drei Familien. In der ersten und ältesten Familie, den Astrolonchiden sind alle zwanzig Stacheln von gleicher Größe (Fig. 31). In der zweiten Familie, den Quadrilonchiden, sind die vier Äquatorialstacheln größer und oft anders geformt, als die sechzehn anderen (Fig. 30). In diesen beiden Familien liegt die Äquatorialebene also horizontal und hat die Grundform eines Quadrats. Ihr Biokristall entspricht einem Sterrokristall des tetragonalen Systems. Dagegen stellt sich die Mittelebene vertikal bei der dritten Familie, den Amphilonchiden (Chall. Pl. 132); hier werden zwei gegenständige Stacheln viel größer als die achtzehn anderen, und bisweilen sind diese beiden Hauptstacheln sogar an Größe und Gewicht sehr verschieden (Amphibelone). Hier kann kein Zweifel sein, daß der einzellige Körper seine ursprüngliche Lage verlassen und sich um 90° gedreht hat. Das beweist auch die entsprechende Veränderung in der Ge-

stalt der spindelförmigen Zentralkapsel, deren untere Hälfte viel dicker und schwerer wird als die obere.

Akanthophrakta (Challenger-Radiolarien 1887, Pl. 130—140). Die ausgebildete Gitterschale, durch deren Besitz sich die Akanthophrakten von den Akanthometren unterscheiden, ist in mehrfacher Beziehung eine reiche Fundgrube sowohl für die organische Morphologie und Physiologie, wie für die anorganische Kristallographie

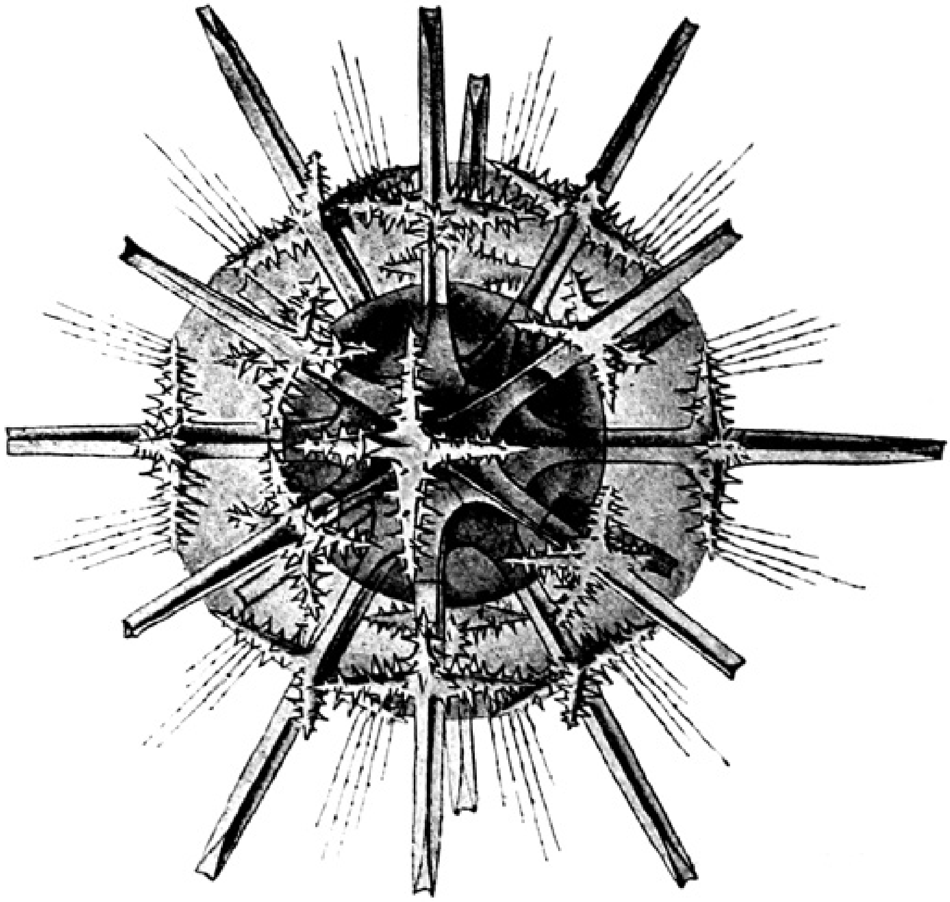


Fig. 31. **Xiphacantha spinulosa (Acantharia).**
Eine Acanthometra mit 20 Radialstacheln, welche an der kugeligen Oberfläche der Gallerthülle (Calymma) ein Kreuz mit vier dornigen Tangentialarmen tragen. Die Äquatorebene ist in dieser Figur senkrecht zur Papierfläche gestellt. Die stachellose Achse (Nord—Süd) steht vertikal.

und Psychomatik. Ursprünglich eine einfache Gitterkugel, welche die konzentrische sphärische Zentralkapsel schützend umgibt (Sphärophrakta), hat sie sich nach verschiedenen Richtungen hin zu höchst seltsamen Panzerbildungen entwickelt. Bei den Belonaspiden wird die Gitterschale ellipsoid, indem zwei gegenständige Äquatorialstacheln viel stärker wachsen als die achtzehn anderen; hier stellt sich die verlängerte hydrotomische Achse wieder senkrecht (wie bei den Amphilonchiden). Bei den Hexalaspi-

den hingegen nimmt die linsenförmig abgeplattete Schale die Form eines sechsstrahligen Sterns an, indem sechs größere Stacheln (zwei gegenständige äquatoriale und vier polare, in derselben „hydrotomischen" Meridianebene gelegen) viel stärker werden als die vierzehn anderen (oft rückgebildeten) (Fig. 35). Bei den Diploconiden endlich verwandelt sich die Schale in eine Sanduhr oder einen Doppelkegel, indem die Basalscheiden der beiden hypertrophischen Äquatorialstacheln (in der hydrotomischen Meridianebene) übermäßig sich entwickeln, die achtzehn anderen Stacheln rückgebildet werden (Fig. 36). Diese sehr merkwürdige Metamorphose — die Entstehung einer Sanduhr aus einem einfachen Strahlensternchen — ist auf Tafel 130 bis 140 der Challenger-Radiolarien (1887) durch viele Abbildungen illustriert.

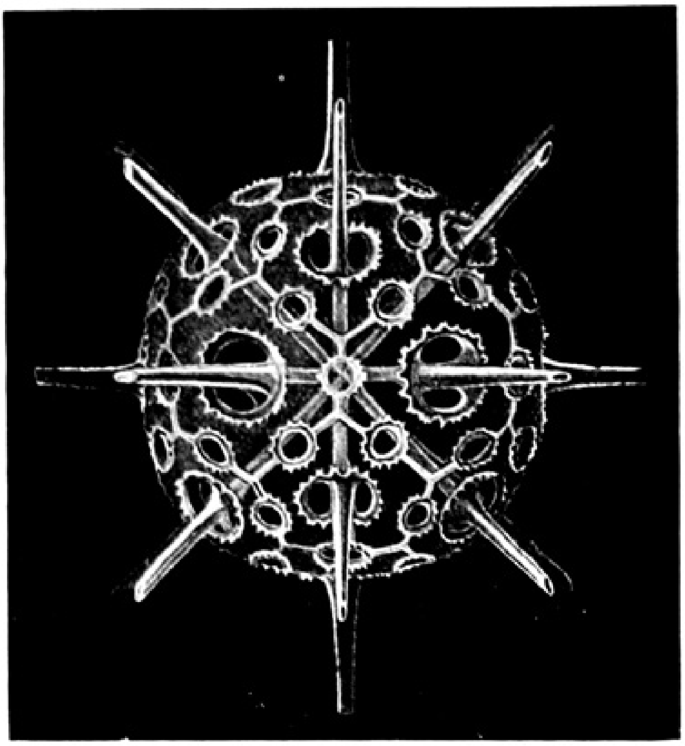


Fig. 32. **Dorataspis typica** (Acantharia Diporaspida).
Eine Acanthophracta, deren kugelige Gitterschale sich aus den gegenständigen Querfortsätzen von 20 zweischneidigen Radialstacheln aufbaut; jede der 20 tangentialen Tafeln ist daher von zwei Aspinalporen durchbrochen. In der Naht zwischen je zwei zusammenstoßenden Tafeln liegt ein Koronalporus.

Die Gitterschale der Akanthophrakten entsteht aus dem Strahlenstern der Akanthoniden dadurch, daß an der Oberfläche des kugeligen Kalymma in tangentialer Richtung aus den 20 Radialstacheln (senkrecht zu ihrer Achse) Querfortsätze hervorwachsen, die sich verzweigen. Bei den Diporaspiden (Fig. 32) treten aus jedem Stachel zwei gegenständige Apophysen hervor, so daß bei deren Verwachsung im ganzen vierzig primäre Aspinalporen entstehen. Bei den Tessaraspiden hingegen (Fig. 33) wachsen aus jedem Stachel vier kreuzständige Apophysen hervor (Fig. 31), so daß hier durch deren Verwachsung im ganzen achtzig primäre Aspinalporen gebildet werden. Sehr bemerkenswert ist die strenge

geometrische Symmetrie, welche sowohl bei der Verzweigung der Apophysen (unter konstanten Winkeln!) als bei der weiteren

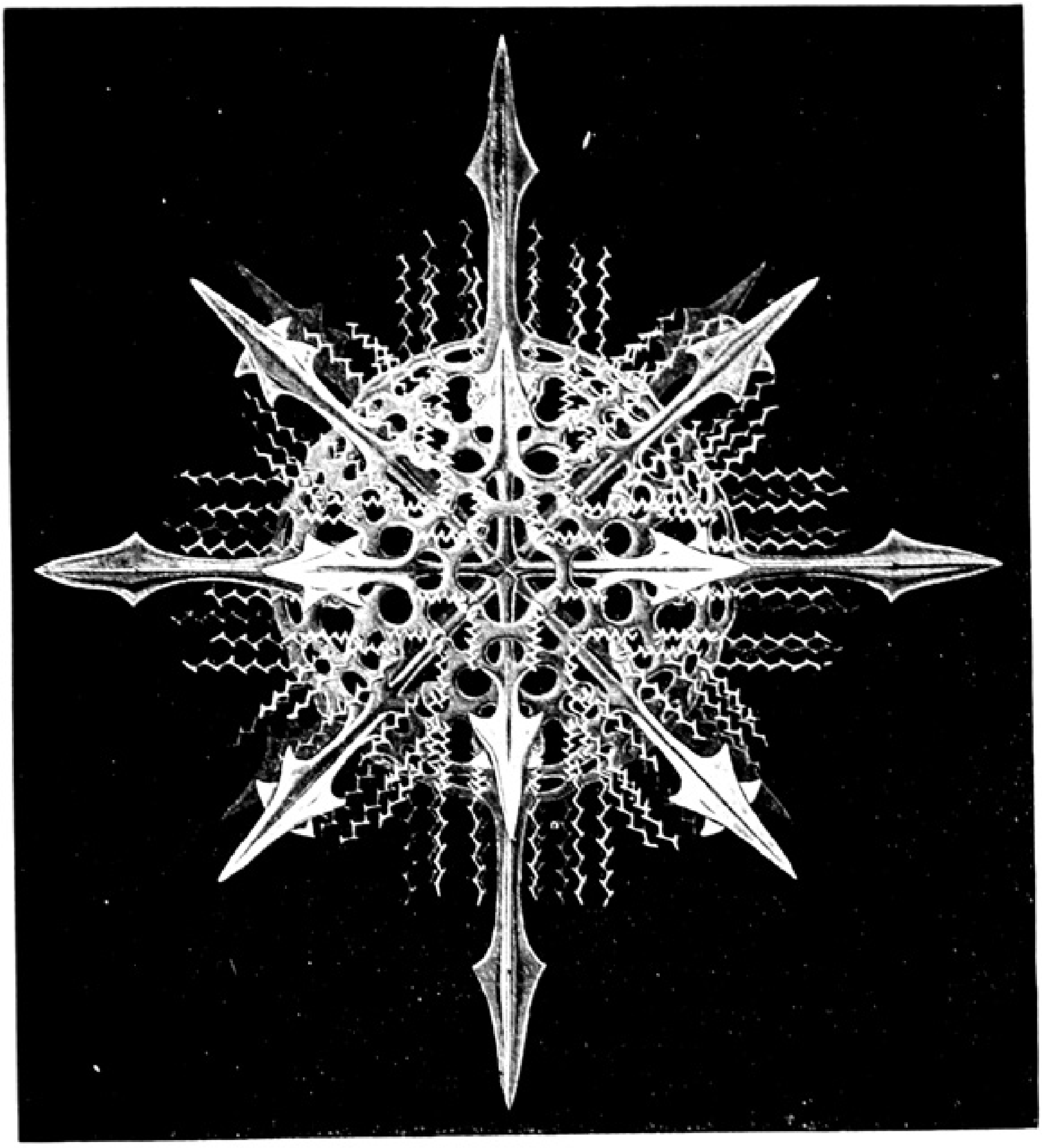


Fig. 33. **Lychnaspis miranda** (Acantharia Tessaraspida).
Eine Acanthophracta, deren kugelige Gitterschale sich aus kreuzständigen Querfortsätzen von 20 vierkantigen (am Ende spießförmigen) Radialstacheln aufbaut; jede der 20 tangentialen Tafeln ist daher von vier Aspinalporen durchbrochen. In der Naht zwischen je zwei zusammenstoßenden Tafeln liegt ein Koronalporus. Aus der äußeren konvexen Fläche der 20 Gittertafeln wachsen zahlreiche zarte, in Zickzack gewundene Beistacheln hervor; die Richtung derselben ist nicht radial, sondern stets parallel dem Hauptstachel, aus dessen Tafelrand sie sich erheben (Wirkung des „Plastischen Distanzgefühls").

Ausbildung der rechteckigen Gittermaschen in den von ihnen gebildeten Tangentialtafeln festgehalten wird. So entstehen jene wunderbar komplizierten Gehäuse der Akanthophrakten, die in

ihrem mathematisch korrekten Aufbau eine exakte promorphologische Analyse gestatten und viel mehr Ähnlichkeit mit vielen starren mineralischen Kristallformen besitzen, als mit irgendwelchen organischen Formen.*)

Protakanthen und Parakanthen. Bei sehr vielen Akanthophrakten wachsen aus der Oberfläche der kugeligen Gitterschale neben den ursprünglichen zwanzig Hauptstacheln (Protacanthi) sehr zahlreiche feine Nebenstacheln oder Beistacheln (Paracanthi) hervor. Diese sind niemals radial gerichtet, sondern stets genau parallel den Hauptstacheln. Da nun diese letzteren immer paarweise gegenüberstehen, so verlaufen sämtliche Beistacheln (oft viele hundert oder tausend) parallel vier verschiedenen, regelmäßig verteilten und mathematisch bestimmten Achsen der kugeligen Gitterschale und der davon umschlossenen Zentralkapsel (Fig. 33). Dieses auffallende, stets wiederkehrende Stellungsverhältnis ist nur zu erklären durch das plastische Distanzgefühl der Pseudopodien, welche die Skeletteile abscheiden, und durch die Mneme des Plasma, welche diese psychomatischen Ästhesen durch Vererbung überträgt. Da die zwanzig Hauptstacheln im Zentrum der Kapsel meist nur ineinander gestemmt (selten verwachsen) sind, lassen sie sich leicht isolieren; jeder vertikale einzelne Hauptstachel zeigt dann die Form eines zierlichen Leuchters, dessen Mitte eine horizontale Gitterplatte mit zwei gegenständigen oder vier kreuzständigen Aspinalporen trägt; am Rande derselben erheben sich senkrecht zahlreiche feine Beistacheln; sie umgeben den zentralen Hauptstachel in ähnlicher Anordnung, wie bei einem „Geburtstagskuchen" die vielen kleinen Wachslichter (die Zahl der Jahre angebend) rings um die starke zentrale Kerze (das sogenannte „Lebenslicht") herumstehen. (Vgl. Chall. 1887. Pl. 137, 138; — Kunstformen der Natur, Taf. 41.) Auch bei manchen Akanthoniden, deren zwanzig Strahlen an der Basis ein vierflügeliges Blätterkreuz tragen, sind die Zähne oder Nebenstacheln, die von den Blättern senkrecht abgehen, stets parallel den Achsen gerichtet (Fig. 35).

*) Vgl. hierzu die zwölf Tafeln im dritten Teil der deutschen „Monographie der Radiolarien": Acantharien oder Actipyleen-Radiolarien (Berlin, Reimer 1888). Dieselben Formen finden sich auf den Tafeln 129—140 der englischen Challenger-Radiolarien (1887). Die aufmerksame Betrachtung derselben wird dies eindrucksvoller zeigen als eine lange, ausführliche Beschreibung. Eine kleine Auswahl der auffälligsten Formen ist auf den Tafeln 21 und 41 meiner „Kunstformen der Natur" gegeben.

Sehr interessant ist im besonderen die Ähnlichkeit dieser und anderer kristallähnlichen Bildungen der Akantharien mit Bezug auf die Molethynen, jene geheimnisvollen „molekularen Richtkräfte", zu deren psychomatischer Deutung wir bei unbefangener Vergleichung mit Kristallisations-Gesetzen genötigt werden. Sowohl bei vielen kugeligen Dorataspiden wie bei den großen ellipsoiden Belonaspiden finden sich in jeder der zwanzig tangentialen Gitterplatten zahlreiche (oft mehrere tausend) rechteckige Löcher,

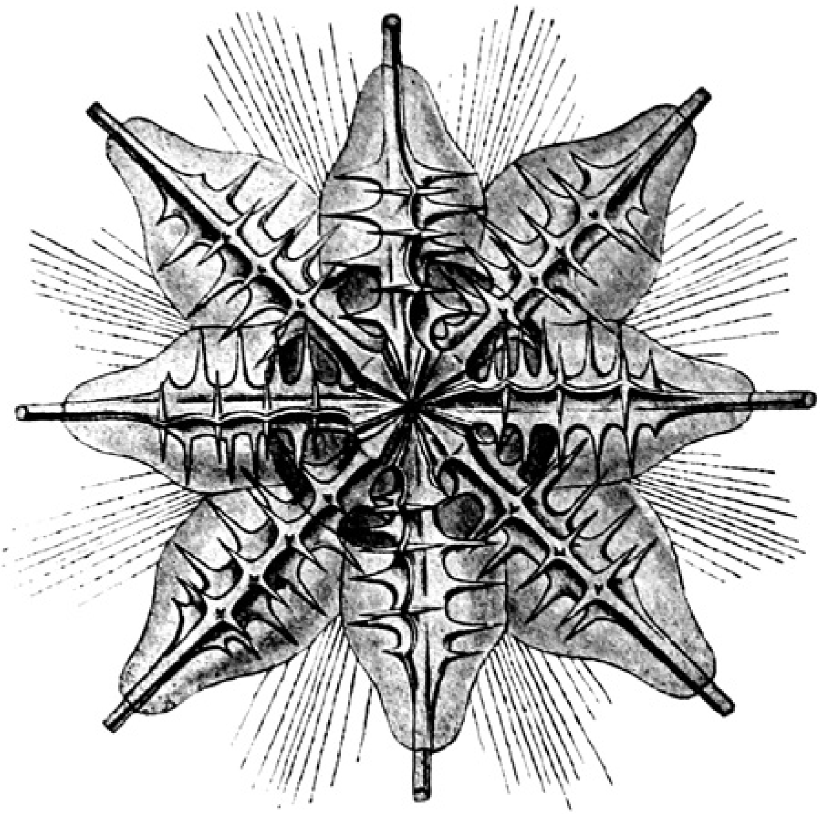


Fig. 34. **Pristacantha polyodon** (Acantharia).
Eine Acanthometra mit 20 Radialstacheln, von denen nur acht gezeichnet sind. Die Basalteile der Stacheln sind von kegelförmigen Fortsätzen der Gallerthülle umschlossen und tragen vier kreuzständige Blätter, deren jedes zwei Reihen von parallelen Zähnen trägt.

neben zwei oder vier primären Aspinalporen viele sekundäre Koronalporen. Wo nun die Gitterplatten, deren jede selbständig nach ihrem Hauptstachel orientiert ist, in der Schalenfläche zusammenstoßen, da entstehen ähnliche Figuren, wie bei der Kristallisation von Salmiak und anderen Salzen, deren „Kristallskelette" beim Zusammenstoßen verwachsen (Fig. 1—3, S. 8, 9).

Psychomatische Vererbung. Die vergleichende Morphologie der Akantharien, von denen neuerdings über 400 verschiedene Spezies beschrieben sind, läßt keinen Zweifel bestehen, daß diese

mannigfaltigen, zum Teil höchst komplizierten Formen, alle aus einer gemeinsamen Urform hervorgegangen sind; aus einer einfachen Kugelzelle (Actinelius), von deren Mittelpunkt unzählige feine Strahlen ausgehen, wie bei einem Sphärokristall. Eine lange Kette von verbindenden Übergangsformen führt von diesen Astrolophiden zu den Akanthoniden (mit zwanzig regelmäßig auf fünf Parallelkreise verteilten Stacheln); anfangs sind diese Radien einfach, dann bilden sie Querfortsätze (Fig. 31); diese treten zur Bildung einer kugeligen Gitterschale zusammen (Fig. 33). Später verwandelt sich, bei den Hexalaspiden, die Kugel in eine linsenförmige Scheibe (Fig. 35); vierzehn Stacheln werden rudimentär; die sechs übrigbleibenden werden um so stärker; indem sie am Rande der Linse hervortreten, bilden sie einen sechsstrahligen Stern, ähnlich einem Schneestern (Fig. 35). Zuletzt, auf der jüngsten phyletischen Entwicklungsstufe, bleiben von diesen sechs Stacheln nur zwei gegenständige, übermäßig entwickelte übrig, während die achtzehn anderen verkümmern und größtenteils oder ganz verschwinden (Fig. 36). Aber die basalen Stachelscheiden dieser zwei Riesenstrahlen entwickeln sich so mächtig, daß sie eine ganz neue, sehr merkwürdige Schalenform bilden, einen Doppelkegel („Sanduhr oder Doppelkorsett").*)

Phylogenie der Akantharien. Die zusammenhängende Kette von phyletischen Entwicklungsstufen, welche in der formenreichen Legion der Akantharien noch heute lebend nebeneinander vorkommen, gestattet uns nicht allein ihre monophyletische Ableitung von Actinelius als gemeinsamer Stammform; sondern sie liefert auch schöne Beweise für das Biogenetische Grundgesetz, dessen Gültigkeit für die einzelligen Protisten oft bezweifelt worden ist. Die historische Entstehung eines so komplizierten kristallähnlichen Gebildes wie Lychnaspis (Fig. 33) wiederholt sich noch heute in seiner individuellen Entwicklung. Denn seine Ontogenese zeigt, daß zuerst nur zwanzig einfache Radien (nach Müllers Gesetz) gebildet werden; dann verästeln sich dieselben (Fig. 31); ihre Querfortsätze treten an der Oberfläche des kugeligen Kalymma zur Bildung einer Gitterschale zusammen, und erst zuletzt wachsen aus deren Oberfläche die haarfeinen Nebenstacheln hervor, genau parallel den Hauptstacheln gerichtet (Fig. 33). Diese ontogene-

*) Ich habe solche Formen schon in meiner „Natürlichen Schöpfungsgeschichte" abgebildet (11. Aufl. 1909, Taf. 15, Fig. 6; Taf. 16, Fig. 11). In den „Kunstformen der Natur", Taf. 21, 41, sind weitere Beispiele dargestellt.

tische Wiederholung des langen phylogenetischen Prozesses, der sich im Laufe vieler Jahrmillionen langsam und allmählich entwickelt hat, ist nur verständlich durch das Gedächtnis der Strahlingsseele, durch die psychomatische Auffassung ihrer plastischen Tätigkeit (Mneme).

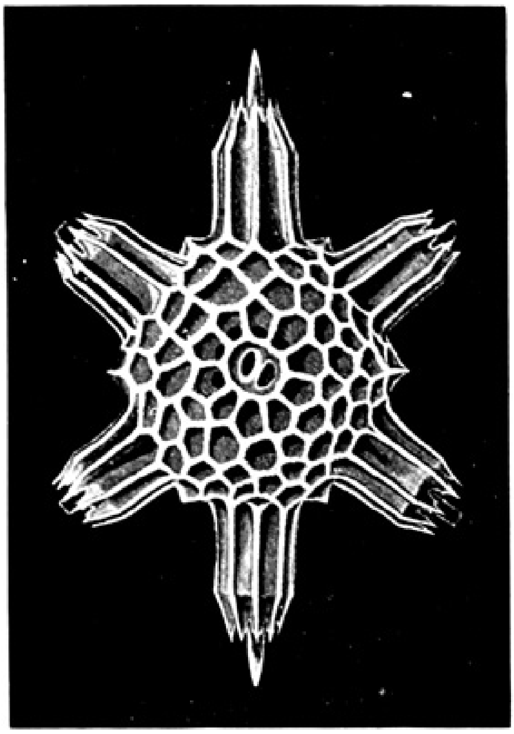


Fig. 35. **Hexacolpus nivalis** (Acantharia).

Eine Acanthophracta, deren linsenförmige Gitterschale sich aus 20 Radialstacheln zusammensetzt (ähnlich wie bei Dorataspis, Fig. 1). 14 davon sind klein, rudimentär und treten nicht über die wabige Außenfläche der Schale hervor. Die sechs übrigen Radialstacheln liegen im Äquator der Linse, springen an deren Rand nach außen vor und sind von starken, parallel gerippten Stachelscheiden umgeben.

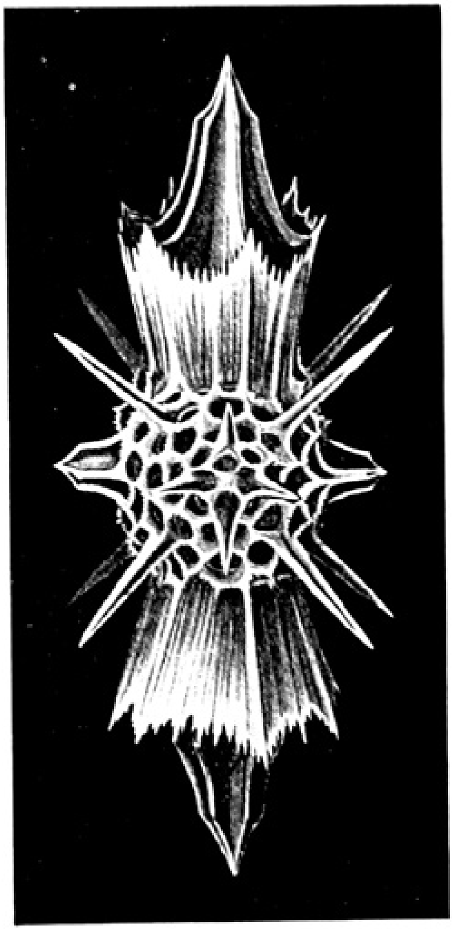


Fig. 36. **Diploconus hexaphyllus** (Acantharia).

Eine Acanthophracta, deren Schale durch die übermäßige Entwickelung von zwei gegenständigen Stacheln und ihren basalen Scheiden die Gestalt eines Doppelkegels erhält; die übrigen 18 Stacheln sind rudimentär.

Psychom der Nassellarien (Monopylea). Die Verhältnisse der Gestaltung und Fühlung sind bei dieser dritten Legion der Radiolarien zwar auch äußerst mannigfaltig, aber für unsere Psychomatik bei weitem nicht so interessant als diejenigen der beiden vorhergehenden Legionen, der Spumellarien und Akantharien. Während

diese beiden Gruppen der Porulosa von der schwebenden Kugel ausgehen und zahllose feine Pseudopodien durch die Membran ihrer Zentralkapsel allseitig heraustreten, sind dagegen die beiden Legionen der Osculosa (die Nassellarien und Phaeodarien) dadurch charakterisiert, daß der einzellige (meist eiförmige) Körper von Anfang an eine vertikale Hauptachse zeigt, und daß an deren unterem (basalen) Pole eine einzige größere Öffnung existiert, ein Osculum, aus dem das Plasma in Form eines Pseudopodien-Bündels einseitig austritt. Infolgedessen ist das hydrostatische Gleichgewicht der Nassellaria stabil; immer steht die Hauptachse der Zentralkapsel, und ebenso des sie umgebenden Skelettes, vertikal, und immer werden alle psychomatischen Beziehungen des Organismus durch diese charakteristische Struktur ihrer Basalöffnung, des Osculum, bedingt. Diese ist stets verschlossen durch einen kreisrunden Siebdeckel (Operculum porosum), der die Basis eines eigentümlichen, in das Innere der Kapsel vorspringenden Fadenkegels (Podoconus) bildet. Die Pseudopodien treten durch zahlreiche feine Poren des Porenfeldes (Porochora) im Siebdeckel heraus.

Das Kieselskelett der Nasellarien (Taf. C, Fig. 6, 9, 10) setzt sich aus drei verschiedenen Elementen zusammen: I. dem Sagittalring, einem einfachen oder mit vielen Ästen besetzten Kieselring, welcher vertikal in der Sagittal-Ebene des Körpers liegt, die Zentralkapsel umfaßt und an ihrem Basalpol mit ihr zusammenhängt; II. dem Basaltripodium, einem oralen Dreifuß, der sich aus drei divergenten Kieselstacheln zusammensetzt, welche im Zentrum der Porochora, an der Basis der Vertikalachse zusammentreffen; III. der Cephalis oder dem Gitterköpfchen, einer einfachen eiförmigen oder subsphärischen Schale, welche die Kapsel umschließt und am Basalpole ihrer Hauptachse mit ihr zusammenhängt. Diese drei wesentlichen Skelettelemente erscheinen bei der großen Mehrzahl der Nassellarien miteinander kombiniert, bei vielen aber auch einzeln für sich oder paarweise verbunden. Daraus ergibt sich die Schwierigkeit der monophyletischen Ableitung ihrer zahlreichen Formen, von denen schon mehr als 1600 Arten beschrieben sind. Im einzelnen bieten auch sie viele interessante Verhältnisse, die ein Licht auf ihr Psychom und dessen mechanische Funktion werfen; in allgemeiner Beziehung sind sie aber nicht von ähnlicher Bedeutung wie die Porulosen. Eine sehr auffallende Form, Lithocubus, bildet eine würfelförmige Schale, deren zwölf Kanten (mit

Stachelfortsätzen verziert) genau den Kanten eines regulären Würfels im tesseralen Kristallsystem entsprechen (Fig. 37).

Psychom der Phaeodarien (Cannopylea). Diese vierte Legion der Radiolarien stimmt mit der vorhergehenden dritten darin überein, daß die Zentralkapsel nur eine größere Hauptöffnung (Osculum) besitzt, am basalen Pole der vertikalen Hauptachse. Aber die Struktur derselben ist ganz verschieden. Das Osculum ist durch einen Strahlendeckel verschlossen (Astropyle), aus dessen Mitte ein röhrenförmiger Rüssel sich erhebt (Proboscis); ein starker Plasmastrom tritt durch dieses Rohr hervor und breitet sich im Kalymma aus. Ein eigentümliches Phaeodium, ein voluminöser (meist brauner oder grüner) Pigmentkörper erfüllt einen großen Teil des Kalymma, besonders in der Umgebung des Osculum. Gegenüber dieser basalen Hauptöffnung sind oft, aber nicht immer, noch zwei kleinere Nebenöffnungen (Parapylae) an der oberen oder aboralen Wölbung der kugeligen oder etwas abgeplatteten Zentralkapsel sichtbar. Die meisten Phaeodarien sind echte Tiefseebewohner, und übertreffen die anderen drei Legionen durch bedeutende Größe (bis zu einigen Zentimetern). Viele zeigen seltsame Formen des Skelettes und besondere Komplikation im Aufbau seiner Teile. Das Material desselben ist meistens ein karbonisches Silikat, eine eigentümliche Verbindung von Plasma und Kieselerde, seltener reines Silizium. Die Stäbe, die das Gitterwerk der Schale zusammensetzen und die radialen Stacheln, die davon ausgehen, sind oft hohle Röhren, mit Gallerte gefüllt.

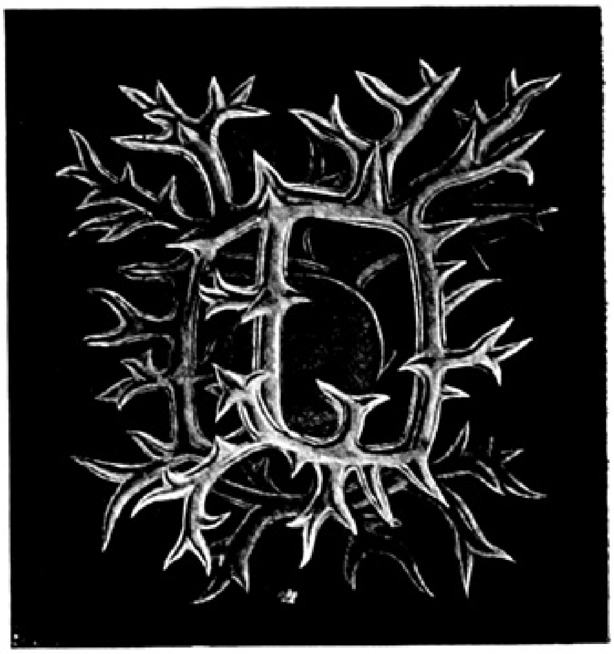


Fig. 37. **Lithocubus astragalus** (Nassellaria).
Das Kieselskelett bildet einen regulären Würfel mit sechs quadratischen Flächen. Sowohl von den acht Ecken als von den zwölf Kanten des Kubus gehen verästelte Radialstacheln ab. In der Mitte schwebt die kugelige Zentralkapsel.

Wunder der Zellseele. Durch die mannigfache Differenzierung der einzelnen Körperteile und die Ausbildung spezieller Organelle

erscheinen die Phaeodarien als „höhere Protisten" gegenüber den anderen Radiolarien. Auch ihre „Zellseele" ist demgemäß als ein vollkommeneres Psychom zu beurteilen: sie vollbringt hier bisweilen Leistungen im Aufbau des schützenden Gehäuses, welche erstaunlich sind. Trotzdem sind die einfachsten Formen auch hier wieder Gitterkugeln, die an der Außenfläche des Kalymma abgeschieden werden. Bei Auloscena und Sagenoscena (Fig. 39) setzt sich

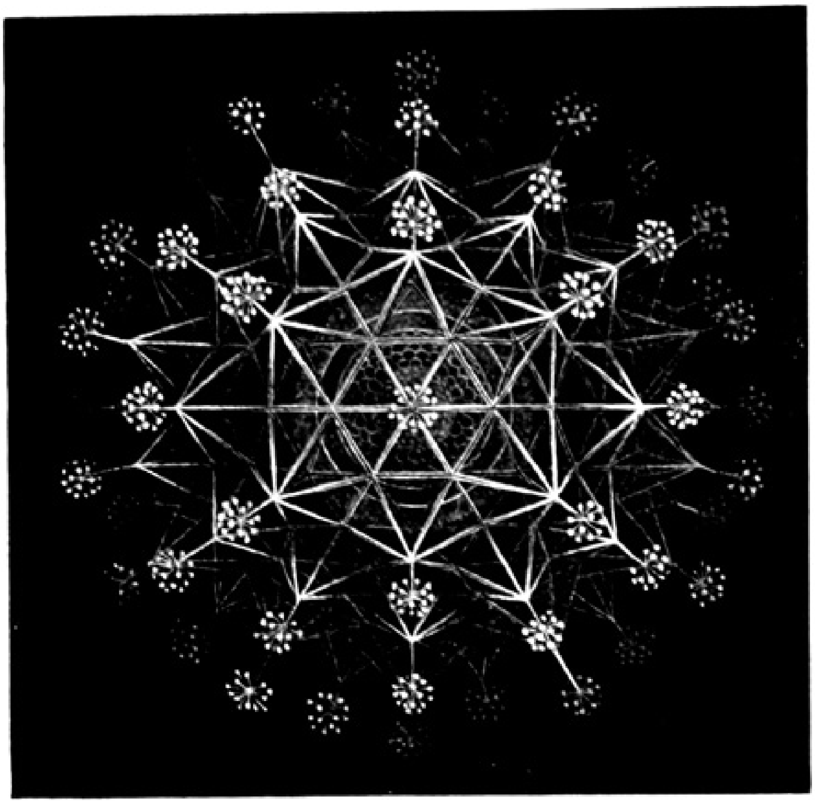


Fig. 39. **Sagenoscena stellata** (Phaeodaria).
Die kugelige Zentralkapsel (in der Mitte durchscheinend) ist von einer dicken sphärischen Gallerthülle (Kalymma) umgeben. An deren Oberfläche scheiden die zahllosen radialen Plasmafäden eine konzentrische kugelige Gitterschale von sehr verwickeltem Bau aus. Je sechs hohle Kieselröhren bilden ein reguläres Sechseck, die Basis einer sechsseitigen Pyramide, auf deren Spitze sich ein Radialstab erhebt (wie die Fahnenstange auf einem Zelt). Die Spitze jeder Stange trägt eine Krone oder einen Stern, der aus knopftragenden Radialstäbchen (Spathillen) sich zusammensetzt.

das Netzwerk der kolossalen, mehrere Millimeter großen Gitterkugeln aus regelmäßigen dreieckigen Maschen zusammen, die zu je sechs vereinigt ein reguläres Sechseck bilden; über jedem Hexagon erhebt sich eine regelmäßige sechsseitige Pyramide, und auf deren Spitze (wie eine Fahnenstange) ein Radialstab, der am Ende eine zierliche Krone oder einen Kranz von Dornensternen (Spathillen) trägt. Die Familie der Concharíden (Muschelstrah-

linge) zeichnet sich dadurch aus, daß die länglich-runde (ursprünglich wieder kugelige) Gitterschale in zwei Hälften zerfällt, die sich ganz wie die beiden Klappen einer Muschelschale verhalten; bisweilen sind sie sogar durch ein „Schloßband" verbunden. Bei den verwandten Coelographiden erhebt sich aus der Wölbung jeder Klappe eine Gruppe von vielverästelten Bäumen, deren hohle Röhrenstämme mit Tausenden von zierlichen Spathillen und anderen Anhängen besetzt sind.

Reguläre Polyeder. Das polymorphe Skelett der Phaeodarien zeichnet sich vor dem der übrigen Radiolarien nicht bloß durch die merkwürdige Mannigfaltigkeit und Komplikation seinerSilicium-Produkte aus, sondern auch durch die geometrische Regelmäßigkeit der Gitterschalen, welche an der Oberfläche der Kalymma von den flüssigen Plasmafäden gebildet werden. Diese Pseudopodien strahlen in großer Zahl von dem Plasmastrome aus, der aus dem röhrenförmigen Osculum der Zentralkapsel hervortritt („Cannopylea"); sie treten divergierend durch die dicke strukturlose Gallertmasse hindurch, welche als gallertige Schutzhülle die kugelige Zentralkapsel rings umschließt, und bilden an deren Oberfläche ein Sarkodenetz (Sarcodictyum), in welchem die Skelettsubstanz kristallisiert. Diese „Biokristallisation" führt nun meistens zur Entstehung eines „Endosphärischen Polyeders"; aber eine Familie der Phaeodarien, die Circoporiden, zeichnet sich besonders dadurch aus, daß hier die seltenen Formen der regulären oder „Platonischen" Polyeder neben den gewöhnlichen subregulären oder irregulären Vielflächnern gebildet werden. Die Geometrie lehrt, daß nur fünf verschiedene Formen von wirklich regel-

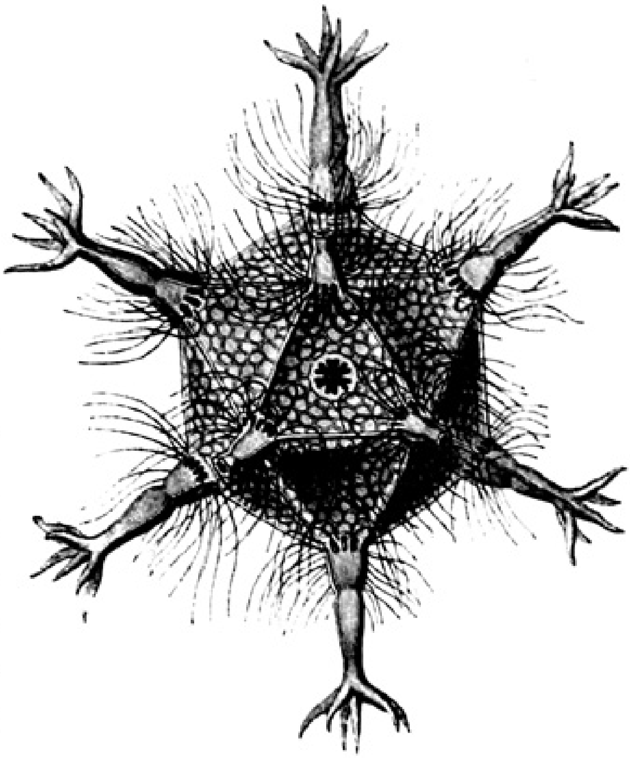


Fig. 38. **Circogonia icosaedra** (Phaeodaria).
Die Kieselschale hat die geometrische Form eines regulären Ikosaheders, begrenzt von 20 gleichen, gleichseitig dreieckigen Flächen. Von den zwölf Ecken gehen zwölf starke Radialstacheln aus, die an der Spitze eine Krone von fünf bis sechs Zähnen tragen.

mäßigen Vielflächen (in streng stereometrischem Sinne) vorkommen können:

I. Das reguläre Icosaeder (mit zwanzig kongruenten gleichseitig-dreieckigen Seitenflächen) findet sich rein ausgeprägt bei der Circoporide Circogonia icosaedra (Fig. 38), aber auch bei einigen Aulosphäriden. Dieselbe geometrische Grundform besitzen aber auch (einem „Kristallskelett" ähnlich) diejenigen Sphaeroideenarten, deren kugelige Gitterschale zwölf gleiche und gleich weit voneinander entfernte Radialstacheln trägt. Die Basalpunkte dieser Stacheln bezeichnen die zwölf Ecken des regulären Icosaeders.

II. Das reguläre Dodecaeder (mit zwölf kongruenten, gleichseitig-fünfeckigen Seitenflächen: Pentagonal-Dodekaeder). Diese Grundform zeigen die Pollenkörner vieler Pflanzen (z. B. Fumaria spicata, Buchholzia maritima); sie findet sich bei der Circoporide Circorrhegma dodecaedra, sowie bei denjenigen Sphaeroideen und Acantharien, von deren kugeliger Gitterschale zwanzig gleiche und gleich weit abstehende Radialstacheln ausgehen; ihre Basalpunkte bestimmen die zwanzig Ecken des regulären Dodekaeders.

III. Das reguläre Oktaeder (mit acht kongruenten gleichseitig-dreieckigen Seitenflächen) wiederholt vollkommen die geometrische Form des tesseralen Kristallsystems in Circoporus octaedrus. Bei dieser merkwürdigen Art springen die zwölf Kanten des Oktaeders scharf vor und die acht Flächen des regulären Biokristalls sind flach oder nur wenig gewölbt, dazu mit einem zierlichen, regelmäßig hexagonalen Gitterwerk getäfelt. Dagegen sind bei einer anderen Species desselben Genus, bei dem häufigeren Circoporus sexfuscus die 12 Kanten völlig verwaschen und die acht Flächen so stark gewölbt, daß die ganze Kieselschale des Biokristalls die reine Kugelform angenommen hat. Aber die sechs starken, am Ende gabelförmig geteilten Radialstacheln, die in gleichen Abständen von der Oberfläche der Schale entspringen und den drei Koordinaten-Achsen entsprechen, bezeichnen unzweideutig die reguläre Kristallform des tesseralen Systems (ebenso wie bei Aktinomma, Taf. C. Fig. 3, S. 67). Man könnte nun vermuten, daß aus dem reinen Tesseralkristall von C. octaedrus sekundär die Kugelschale — der scheinbare „Sphärokristall" — von C. sexfuscus hervorgegangen sei; wahrscheinlich verhält es sich aber umgekehrt. Die primäre Bildungsursache ist hier, wie bei den Hexastyliden, das „Achsenkreuz" der drei Koordinaten-Achsen, als Anpassung an das stabile Gleichgewicht der schwebenden Planktonzelle. Ähnlich urteilt auch Valentin Haecker,

der in seinem schönen Werk über die Tiefsee-Radiolarien der Valdivia-Expedition dieselben und andere Circoporiden abgebildet hat.

IV. Das reguläre Hexaeder (mit sechs kongruenten quadratischen Seitenflächen) findet sich verkörpert in dem Kieselskelett verschiedener Radiolarien-Familien. Bei Lithocubus (Fig. 37, S. 81) entsprechen die zwölf Kanten des Gittergehäuses vollkommen den Kanten eines geometrischen Würfels. Bei vielen Astrosphäriden erscheint die innerste, zuerst um die kugelige Zentralkapsel ge-

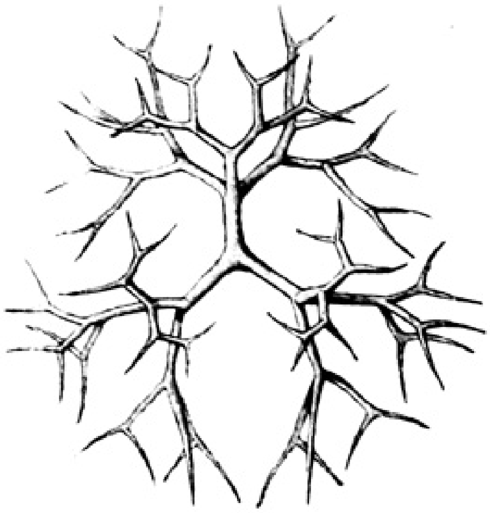


Fig. 40. **Thalassoxanthium cervicorne** (Spumellaria).
Ein einzelner dreistrahliger kristalloider Kieselkörper, dessen drei Schenkel gleiche Winkel bilden und wiederholt gabelförmig verästelt sind.

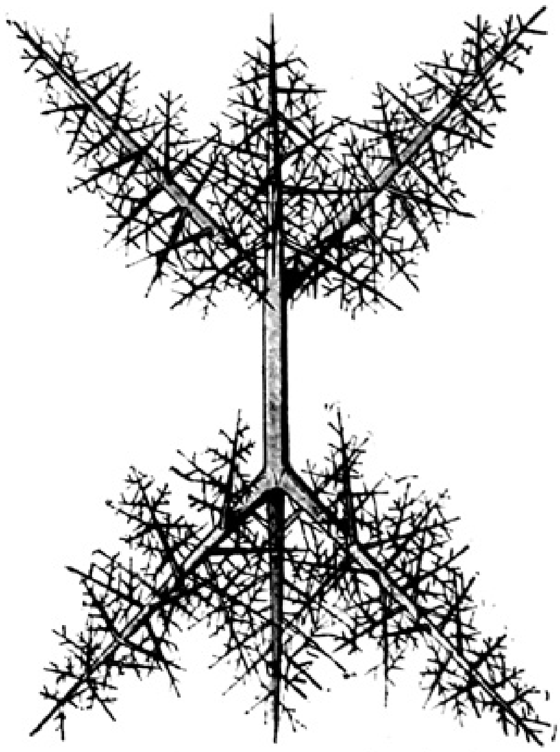


Fig. 41. **Sphaerozoum spinosissimum** (Spumellaria).
Ein einzelner Kieselkörper (Biokristall), dessen zylindrischer Mittelstab an beiden Enden je drei divergente Schenkel trägt, entsprechend den Flächenachsen eines regulären Tetraeders. Jeder Schenkel trägt viele mit Dornen besetzte Äste.

bildete Markschale als ein Würfel, von dessen acht Ecken in gleichen Abständen acht Radialstacheln abgehen. Aus den tangentialen Ästen derselben entsteht durch Verwachsung eine kugelige konzentrische Rindenschale, die weiter nach außen ein voluminöses spongiöses Flechtwerk entwickelt. (Vgl. Octodendrum, Challenger-Radiolarien, Pl. 18, Fig. 1—3.)

V. Das reguläre Tetraeder, mit vier kongruenten, regulär dreieckigen Seitenflächen, erscheint als kristalline Grundform bei

einigen primitiven Formen der Nassellarien: Tetraplagia unter den Plagoniden und Tetraplekta unter den Plektaniden. Das ganze Skelett besteht hier aus vier geraden, meistens dreikantigen Kieselstäben, welche von einem gemeinsamen Mittelpunkt in gleichen Abständen unter gleichen Raumwinkeln ausstrahlen; sie entsprechen genau den Flächenachsen eines regulären Tetraeders. Unter den zahlreichen, davon abgeleiteten Formen dieser Plektellarien ist besonders wichtig die Cortinaform, bei der die Zentralkapsel unten auf einem basalen Dreifuß ruht, während der vierte Strahl sich oben zu einem Gipfelstachel entwickelt. Dieselbe Grundform des regulär vierstrahligen Achsenkreuzes kehrt aber auch als Organell in den Kieselspikula vieler Beloideen unter den Spumellarien wieder. Aus ihr entwickeln sich die mannigfaltigen dreistrahligen und vierstrahligen und sechsstrahligen Spikulaformen, welche in großer Zahl als tangentiale Schutzwaffen die Zentralkapsel vieler Sphärozoiden und Thalassosphäriden umgeben (Fig. 40, 41).

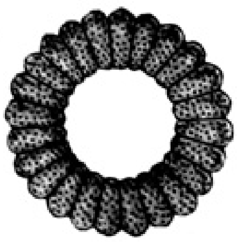


Fig. 42. **Collosphaera primordialis** (Spumellaria). Ein ringförmiges Coenobium in natürlicher Größe. Der kranzähnliche Zellverein ist durch radiale Einschnitte in keilförmige Stücke gegliedert. Diese seltene Form des Coenobium entsteht durch zufällige Verwachsung von zwei Enden eines zylindrischen Zellvereins. Die feinen Punkte in der Gallertmasse sind die einzelnen Zellen (Individuen).

Kristallinische Spikula (Beloidskelette). Fig. 40, 41. Sehr merkwürdige kristallartige Silikatformen finden sich in der Spumellarien-Ordnung der Beloidea oder „Nadelstrahlinge", sowohl bei den solitären Thalassosphäriden (Fig. 40), als bei den sozialen Sphärozoiden (Fig. 41 und Taf. C, Fig. 2, S. 67). Diese starren Kieselgebilde (gewöhnlich als „Nadeln" oder Spikula bezeichnet) werden von den flüssigen Pseudopodien außerhalb der Zentralkapsel, in der sie umgebenden Gallerthülle (Kalymma) abgeschieden; bald sind sie einfache zylindrische solide Stäbe, bald verästelt oder an beiden Polen in drei divergente Schenkel auslaufend, die den Flächenachsen eines regulären Tetraeders entsprechen; von diesen können wieder unter rechten Winkeln einfache oder verzweigte Seitenäste abgehen, ebenso wie bei vielen Skeletten von Sterrokristallen (Fig. 1, 2, 9). Gewöhnlich liegen die Nadeln in großer Zahl auf den äußeren Flächen der Zentralkapsel, tangential zu deren Kugelform. In den Coenobien der sozialen Beloideen kommen sie aber auch massenhaft in der Gallertmasse (Kalymma)

des Zellvereins vor, welche die vereinigten Zentralkapseln zusammenhält (Taf. C, Fig. 2, S. 67). — Bei manchen sozialen Spumellarien, deren gemeinsames Kalymma große kugelige Vakuolen enthält, entwickelt sich bisweilen im Zentrum eine besondere Zentral-Alveole (Fig. 43); sie bildet ein gemeinsames festeres Stützorgan des weichen Zellvereins.

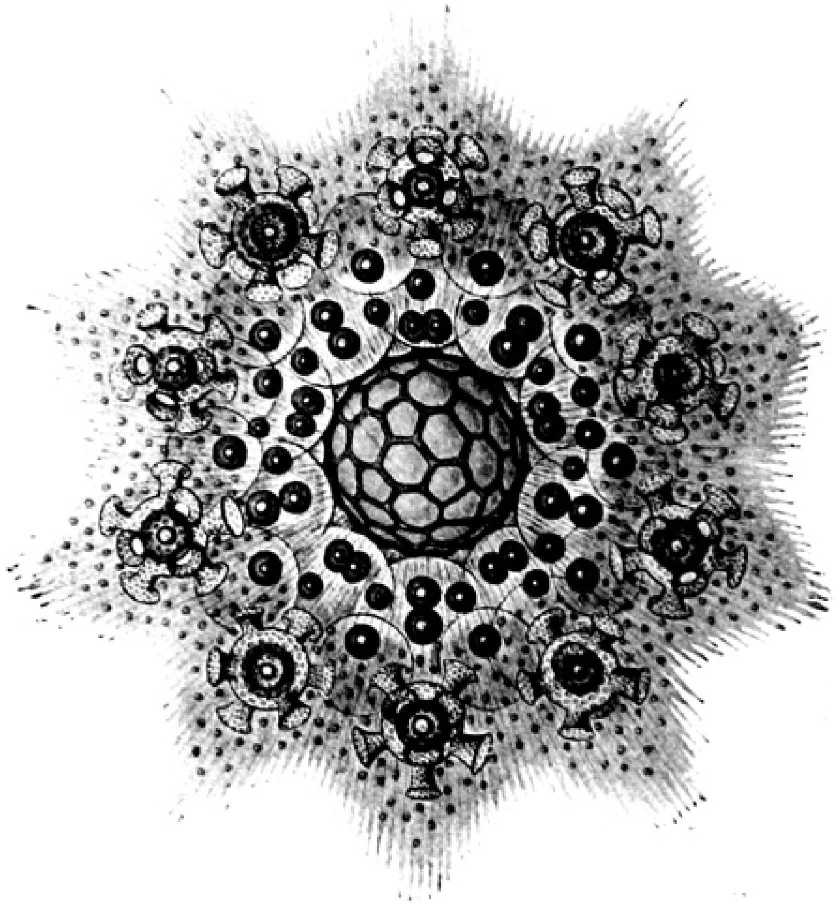


Fig. 43. **Solenosphaera familiaris** (Spumellaria).

Ein kugeliges Coenobium, dessen Gallertmasse (Kalymma) viele sphärische Wasserblasen (Vakuolen) enthält. In der Mitte liegt eine größere Blase (Zentral-Alveolen), deren Wand verdickt und von einem Plasmanetz umsponnen ist. Die zahlreichen einzelnen Zellen, welche das Coenobium zusammensetzen, sind im inneren Teile nackt und in Vermehrung durch Zweiteilung begriffen. Die größeren und älteren Zellen an der Oberfläche haben eine Kieselschale ausgeschieden, welche trichterförmige Aufsätze trägt.

Psychom der Diatomeen (Fig. 44—50). Eine sehr merkwürdige, in vielfacher Hinsicht lehrreiche Parallele zur Zellseele der Radiolarien bildet diejenige der Diatomeen. Wie dort bei den einzelligen Tieren (Protozoen), so entwickelt hier bei den einzelligen Pflanzen (Protophyten) das gestaltende, mit Fühlung und Bewegung reich ausgestattete Plasma eine außerordentliche Mannigfaltigkeit in der Produktion einer Kieselschale, die zum

Schutze des zarten Zellenleibes dient. Während die Radiolarien (über 5000 Arten) nur im Meere schwebend leben, kommen dagegen die Diatomeen (kaum weniger artenreich) sowohl im Meer als im Süßwasser überall massenhaft vor, teils schwebend oder auch aktiv sich bewegend (schwimmend oder kriechend), teils festsitzend. Ihre unverweslichen Kieselschalen sinken nach dem Tode der Zellen auf den Boden des Wassers und können sich hier im Laufe vieler Jahrmillionen so massenhaft anhäufen, daß sie zu dichtem Gestein werden und ganze Gebirgsmassen zusammensetzen (Polierschiefer). Der physiologische Gegensatz zwischen beiden Protistenklassen

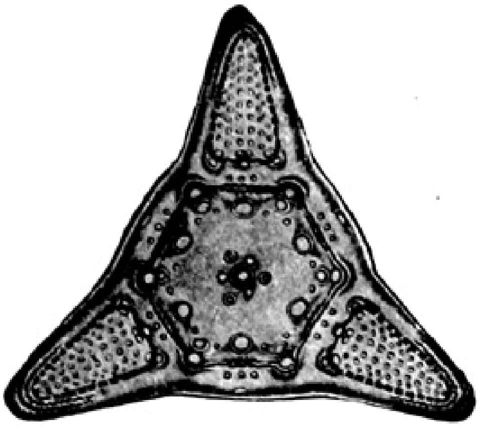


Fig. 45. Triceratium digitale. Kieselschale eine regulär dreieckige Scheibe; in der Mitte ein regelmäßiges Sechseck. Ähnlich einem hemiedrischen hexagonalen Schneekristall (Fig. 1—8, Taf. B, S. 13).

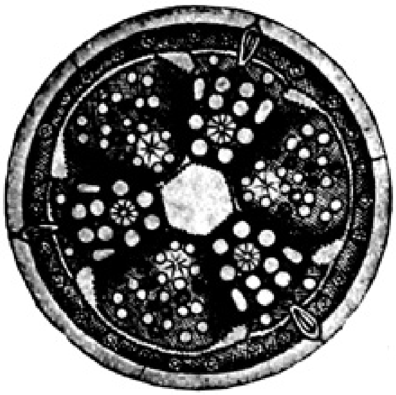


Fig. 46. Actinoptychus constellatus. Kieselschale eine kreisrunde Schachtel; in der Mitte des Deckels ein regelmäßiges Sechseck. Von den Ecken des Hexagon strahlen sechs Radialbalken aus; diese trennen drei breitere Felder mit kleinen Maschen und drei schmälere Felder mit größeren Maschen (ähnlich einem hexagonalen Schneestern, Taf. B).

besteht darin, daß die Diatomeen (als echte plasmodome Pflanzen) Kohlenstoff assimilieren, und durch Synthese von Wasser, Kohlensäure und Ammoniak neues Plasma bilden. Die Radiolarien hingegen (als echte plasmophage Tiere) verstehen diese chemische Kunst nicht mehr, sondern müssen zu ihrer Ernährung Plasma von anderen Organismen aufnehmen; unter diesen spielen nun gerade die Diatomeen eine bedeutende Rolle als Futterquelle.

Diatomeenschale. Sehr wichtig erscheint bei der Vergleichung der Diatomeen und Radiolarien, die in so vielfacher Beziehung zueinander stehen, der Umstand, daß sie ihr Skelett aus Kieselstoff (Silizium) aufbauen. Daraus erklärt sich die überraschende

Ähnlichkeit, welche ihre kristallinisch ziselierten Schalen in bezug auf die feinere Struktur (und also auch die entsprechende Molekulartätigkeit) zeigen. Insbesondere ist die auffallende Regelmäßigkeit merkwürdig, mit der sich in beiden Protistenklassen die Gitterbildung (Dictyosis) wiederholt. Bei den gewöhnlichen Naviculaformen ist das Gitterwerk der soliden Kieselschalen aus vielen tausend Maschen von gleicher Größe und regelmäßig sechseckiger Form zusammengesetzt; und diese Skulptur ist bei vielen so fein, daß sie erst bei stärkster Vergrößerung sichtbar wird, und daß



Fig. 47. Actinoptychus heliopelta.
Kieselschale eine kreisrunde Schachtel, deren Deckel ein regulär vierstrahliges Kreuz zeigt. Vier breitere perradiale Felder alternieren mit vier schmäleren interradialen Feldern. Der einzellige Organismus ahmt genau die typische Grundform der regulär vierstrahligen Meduse nach (im Zentrum das Mundkreuz).

diese feinen Gebilde als Probeobjekt für die Prüfung der Mikroskoplinsen verwendet werden. Ganz dieselben charakteristischen Hexagonal-Dictyosen wiederholen sich in der Schalenbildung vieler Radiolarien, namentlich der Challengerida. Hier wie dort können wir sie nur durch psychomatische Auffassung erklären, durch die Annahme, daß bei der Bildung dieser Biokristalle das Plasma in Verbindung mit dem Silizium einen hohen Grad von Fühlung und Willen betätigt. Die Schalenform der Diatomeen an sich ist meistens einfach. Die ursprüngliche Kugelform wird meistens zu einer flachen Scheibe abgeplattet, die bald kreisrund

ist (Fig. 46), bald polyedrisch (dreieckig, Fig. 45), vierstrahlig (Fig. 47, 48), achtstrahlig (Fig. 49). Eine höchst verwickelte Symmetrie der Gitterbildung zeigt der zehnstrahlige Aulacodiscus grevilleanus (Fig. 50). Die Kieselschale hat die Form einer Schachtel mit einem Deckel; bei der Fortpflanzung durch Teilung trennen sich beide Hälften der Schachtel, worauf jede Hälfte sich ergänzt durch Bildung einer neuen Hälfte.

Diktyosis (Gitterung). Die Kieselschale der meisten Radiolarien hat die Struktur eines feinen Gitters und ist von sehr zahlreichen Löchern durchbrochen, durch welche die Pseudopodien heraustreten können. Ursprünglich ist dieses Gitterwerk meistens



Fig. 48. **Auliscus craterifer.**
Kieselschale eine achtstrahlige Scheibe; am Rande wechseln vier hellere perradiale Octagone ab mit vier dunkleren interradialen.

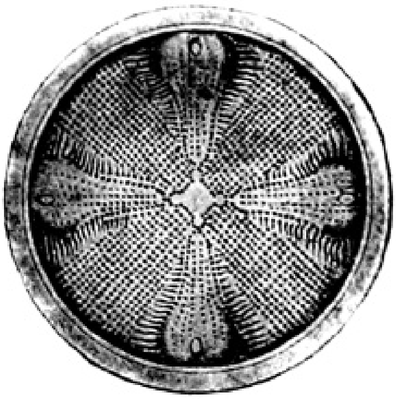


Fig. 49. **Aulacodiscus mammosus.**
Kieselschale eine kreisrunde Schachtel mit regulär vierstrahliger Struktur (Typus des tetragonalen Kristallsystems). Ein regelmäßiges Kreuz wird durch vier schmale Keile gebildet, die vier breitere Felder mit sehr feiner Gitterstruktur trennen.

sehr fein und regelmäßig, aus hexagonalen Maschen von gleicher Größe gebildet. Später werden diese sechseckigen Löcher oft kreisrund oder unregelmäßig. Dieselbe reguläre Hexagonal-Struktur kehrt auch in der Kieselschale der meisten Diatomeen wieder, jener einzelligen Protophyten, die so viele oekologische Beziehungen zu den Radiolarien zeigen und oft ihre Hauptnahrung bilden. Beide Klassen von Protisten gleichen sich auch in der feineren Struktur des Kieselpanzers, der durch die vereinigte Tätigkeit des organischen Plasma und des anorganischen Silizium geformt wird. Die übereinstimmende Regelmäßigkeit ihrer Diktyose läßt die Frage gestatten, ob sie nicht in beiden kieselschaligen Protisten-

Klassen auf ähnlicher Biokristallisation beruht; sowohl die feine Fühlung ihrer zarten Zellseele, als der feste Wille, mit dem sie beim Aufbau ihres wunderbaren Gittergehäuses die Molekül-Bewegung in bestimmter Richtung organisiert, fordert unmittelbar zur Vergleichung mit der Kristallisation der Sterrokristalle heraus. Die „Homologie der Molethynen" — die gleiche Gesetzmäßigkeit in der Arbeit der „Molekularen Richtkräfte" bei jenen organischen und diesen anorganischen Kristall-Gebilden — ist höchst merkwürdig. Unten wird im vierten Kapitel noch Einiges über die psychomatische Erklärung dieser Tatsache zu sagen sein, im Vergleich mit dem „Raumgitter" der Sterrokristalle.

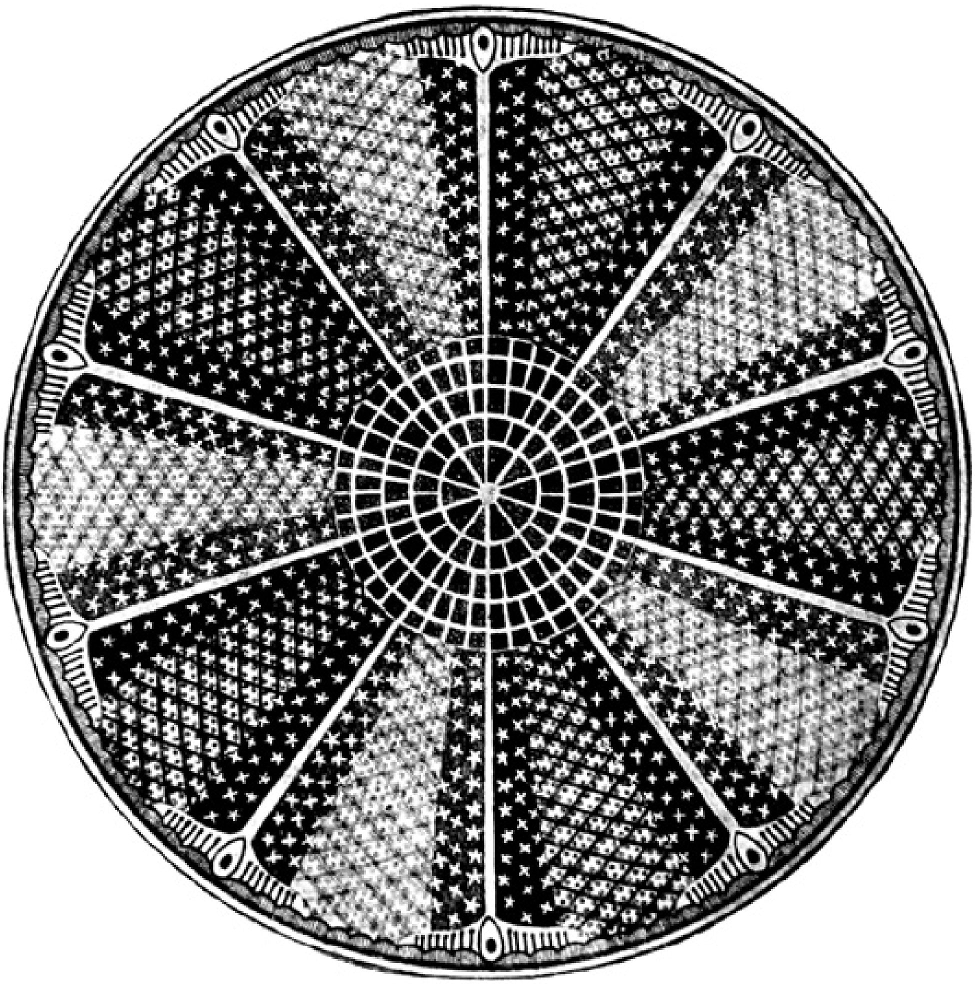


Fig. 50. **Aulacodiscus grevilleanus.**
Kieselschale eine kreisrunde Schachtel, deren Deckel in der Mitte ein System von konzentrischen Ringen, in der Peripherie einen Stern mit zehn hellen Strahlen zeigt. Durch diese werden zehn gleichschenkelig-dreieckige Radialfelder getrennt, fünf hellere abwechselnd mit fünf dunkleren. Die Grübchen (oder Poren) des Gitterwerks sind außerordentlich fein, sternförmig, in gekreuzte und alternierende Reihen geordnet.

Viertes Kapitel:

Psychomatik (= Fühlungskunde).

Aufgabe der Psychomatik. Das Hauptziel der vorliegenden Studien über die Kristallseelen ist die feste Begründung der einheitlichen Naturanschauung; der Nachweis, daß in der organischen und anorganischen Natur überall dieselben ,,ewigen, ehernen, großen Gesetze" alles Geschehen beherrschen. Die ganze ,,Lebewelt", untrennbar mit der sogenannten ,,leblosen Welt" verknüpft, wird als ,,Universum" einheitlich von demselben Prinzip der Entwicklung geleitet. Als ich 1899 in dem Buche über die Welträtsel die Grundsätze dieser monistischen Philosophie in gemeinverständlicher Form darzulegen suchte, vertrat ich deren festes Fundament, den Substanz-Begriff, noch in demselben Sinne, wie ihn Spinoza aufgefaßt hatte, und wie nach ihm Goethe den unsterblichen Satz formulierte: ,,Die Materie kann nie ohne Geist, der Geist nie ohne Materie existieren und wirksam sein." Gleichviel ob man hier den Begriff des ,,Geistes" im Sinne der allwaltenden ,,Gott-Natur" pantheistisch oder im Sinne der modernen ,,Energetik" physikalisch auffassen will, so ist damit jedenfalls die untrennbare Einheit von Kraft und Stoff behauptet. Gegenüber der raumerfüllenden Substanz, dem ,,Extensum" oder Ausgedehnten (= Materie) stand als zweites Attribut die denkende, fühlende und wollende Substanz (= Psyche). Erst durch fortgesetzte vergleichende Untersuchung gelangte ich später zu der Überzeugung, daß die beiden Haupteigenschaften der Psyche: Bewegung und Empfindung, besser als zwei selbständige Attribute der Substanz getrennt werden; die Mechanik, die sich mit der Bewegung, und die Psychomatik, die sich mit der Empfindung der Materie befaßt, erfordern verschiedene Methoden der Erforschung. So gelangte ich 1904 zu der erweiterten Lehre von der Trinität der Substanz, welche ich im 19. Kapitel der ,,Lebenswunder" eingehend begründet habe. Diese neue monistische Theorie von der allgemeinen ,,Dreieinigkeit der Sub-

stanz", die in allen anorganischen Körpern ebenso wie in allen organischen besteht, überwindet viele Schwierigkeiten der älteren „Identitäts-Philosophie". Ihre Beziehungen zu den drei einseitigen Grundrichtungen der Substanzlehre (I. Materialismus, II. Energetik, III. Panpsychismus) habe ich zum übersichtlichen Ausdruck auf der vierten Tabelle meiner „Gott-Natur" (1914) gebracht, die auch hier am Schlusse wiedergegeben ist (S. 152).

Psychomatik und **Psychologie.** Unter allen verschiedenen Zweigen der menschlichen Wissenschaft nimmt noch heute (wie seit 2000 Jahren) die Psychologie als „Seelenkunde" die sonderbarste Stellung ein. Einerseits erscheint dem Naturforscher, der alle Erscheinungen als „Natur" auffaßt und im monistischen Sinne die Einheit der Naturgesetze im ganzen Kosmos behauptet, auch die „Seele" als ein Naturphänomen. Anderseits faßt der schulgerechte Philosoph das Seelenleben als eine übernatürliche Erscheinung auf, er betrachtet es in dualistischem Sinne als eine Wirkung des „Geistes", der von der Natur unabhängig und ihr überlegen ist. Dieser auffällige und tiefgreifende Gegensatz der beiden Weltanschauungen gibt sich auch praktisch darin kund, daß der akademische Unterricht in Seelenkunde allgemein auf zwei verschiedene Fakultäten verteilt ist. In der medizinischen Fakultät lehrt die Physiologie für den gesunden, die Psychiatrie für den kranken Organismus, daß die gesamte Seelentätigkeit eine Funktion des Gehirns ist, die Summe der mechanischen Arbeit, welche von den Neuronen, den „Seelenzellen" des Gehirns, geleistet wird. In der philosophischen Fakultät hingegen lehrt die offzielle, vom Staate approbierte und mit der Theologie verbündete, metaphysische Psychologie, daß die „Seele" ein selbständiges, immaterielles und unsterbliches „Wesen" ist, welches den sterblichen Leib nur eine Zeitlang bewohnt und ihn beim Tode verläßt. Dieser handgreifliche und unversöhnliche Widerspruch zwischen den beiden Hauptrichtungen der Psychologie ist gewohnheitsgemäß so eingebürgert, daß man ihn einfach als „Tatsache" hinnimmt, ohne nach seinen tieferen Gründen zu fragen. Die Folge davon ist eine beispiellose Verwirrung in der Literatur der Psychologie, und ein unaufhörlicher Kampf zwischen den angesehensten Vertretern beider Hauptrichtungen, die sich meistens gegenseitig nicht verstehen oder nicht verständigen wollen.

Psychomatik und **Mathematik.** Die moderne exakte Naturwissenschaft betrachtet es einmütig als ihr höchstes Ziel, alle Natur-

erscheinungen auf die Gesetze der Physik (im weitesten Sinne, mit Inbegriff der Chemie) zurückzuführen und ihre allgemeinsten Begriffe womöglich in mathematischen Formeln festzulegen. Zahl und Maß sollen mit unwiderleglicher Sicherheit die Naturgesetze exakt formulieren. Nach unserer Ansicht führt diese Überschätzung der mathematischen Methode zu gefährlichen Trugschlüssen. Denn die Mathematik als Größenlehre kann immer nur die absoluten und relativen Größenverhältnisse, also die Quantität der Objekte, feststellen; sie kann uns aber nichts über die Qualität derselben aussagen, über die Eigenschaften, deren Erkenntnis nur durch die Empfindung möglich ist. Hier kann nur die Psychomatik in unserm Sinne, die Erkenntnis der „Beseelung" aller Dinge — oder des psychischen „Lebens" im ganzen Weltall — die wahre Einsicht in das Wesen der „Substanz" eröffnen. So muß zwar die Chemie vor allem mit Hilfe der Wage das Gewicht der Atome und Moleküle, welche die unzähligen Verbindungen bilden, zahlenmäßig feststellen; allein über die tieferen Ursachen ihrer Verbindungen, über die chemische Wahlverwandtschaft oder Affinität, erhalten wir nur Aufschluß durch ihre psychomatische Deutung. Das Gefühl von Lust oder Unlust bei der Berührung, das „Lieben und Hassen der Elemente" (Empedokles) ist die wahre letzte Ursache, welche die Bewegungen ihrer Atome und Moleküle unmittelbar veranlaßt.

Physik und Metaphysik. Die strenge „exakte" Naturforschung wird unserer Psychomatik den Vorwurf machen, daß sie das sichere Gebiet der Physik überschreite und den gefährlichen Boden der Metaphysik betrete. Allein dieser Vorwurf trifft in gleichem Maße alle umfassenden Theorien, alle Versuche des denkenden Menschengeistes, über die verwirrende Fülle der unzähligen einzelnen Erscheinungen hinaus zur Erkenntnis allgemeiner Gesetze zu gelangen. Zurzeit herrscht hier gerade im Gebiete der allgemeinen Physik (so z. B. in der berühmten „Relativitätstheorie") eine Verwirrung, welche selbst die namhaftesten Physiker zu den auffälligsten Widersprüchen führt. Das gilt besonders von dem großen Problem der „Materie", d. h. der ausgedehnten oder raumerfüllenden Substanz. Nach der Auffassung, die ich in den „Welträtseln" (Kap. 13, 1899) begründet habe, gibt es keinen leeren Raum, kein „Vakuum"; aller Weltraum, der nicht von der ponderablen Masse (der „trägen Materie" im engeren Sinne) eingenommen ist, wird kontinuierlich von dem imponderablen Äther

ausgefüllt. Allein über die Eigenschaften dieses rätselvollen „Weltäthers" (eines wirklichen „Welträtsels"!) gehen die Ansichten der angesehensten Fachmänner weit auseinander (s. unten).

Komparante Psychomatik. (Vergleichende Psychologie der Kristalle und der Organismen.) Im zweiten Teile der „Welträtsel" (1899, Kapitel 6—11) habe ich versucht, die schwierigen Aufgaben der monistischen Psychologie dadurch zu lösen, daß ich eine kontinuierliche Stufenleiter in der Entwicklung des Seelenlebens aufstellte, von der einfachsten unbewußten Zellseele der Protisten bis hinauf zu der höchsten selbstbewußten Großhirnseele des Menschen und der stammverwandten höheren Wirbeltiere. Dabei stützte ich mich auf das Biogenetische Grundgesetz, indem ich die empirisch festgestellten Tatsachen der Keimesgeschichte (Kap. 6) zu erklären versuchte durch ihre hypothetische, aber auf die handgreiflichen Tatsachen der Paläontologie gegründete Stammesgeschichte (Kap. 7). Von höchstem Werte für die so gewonnene Überzeugung von der Einheit des Seelenlebens in der ganzen organischen Welt ist die Methode der kritischen Vergleichung der verwandten psychischen Erscheinungen. Sie führt uns Stufe für Stufe von der einfachsten Zellseele der niedersten Protisten (Protophyten und Protozoen) hinauf zu den sozialen Zellseelen der Zellvereine (Coenobien); und von diesen zu den organisierten Gewebeseelen der Histonen, welche einerseits in der „Pflanzenseele" der Metaphyten (Gewebpflanzen), anderseits in der „Tierseele" der Metazoen (Gewebtiere) eine lange Reihe von Entwicklungsstufen zeigen. Längst anerkannt ist der Wert dieser komparanten Methode im Gebiete der tierischen Morphologie; hier hat sich im Laufe des 19. Jahrhunderts die vergleichende Anatomie der Organe, von Goethe und Cuvier bis zu Johannes Müller und Karl Gegenbaur, zu einer Höhe und Klarheit der philosophischen Erkenntnis erhoben, welche diesen Zweig der Biologie an die Spitze der modernen Naturphilosophie stellt. Es genügt, an ein hervorragendes Beispiel zu erinnern, an die komparante Kraniologie; sie offenbart uns, wie der geheimnisvolle und höchst verwickelte Knochenbau unseres menschlichen Schädels im Laufe vieler Jahrmillionen sich allmählich aus der einfachen Knorpelkapsel der Urschädeltiere (Archicrania) entwickelt hat, von der uns noch heute lebende Überreste der Cyclostomen, die Pricken (Petromyzonten) und die Inger (Myxinoiden) bedeutsame Kunde geben; — ferner, wie im Laufe der Jahrmillionen aus diesem

primitiven Urschädel der Archicranier sich der zusammengesetzte Knochenbau der silurischen und devonischen Fische, später der karbonischen Amphibien und der permischen Reptilien, und erst im Beginne der Sekundärzeit (in der Triasperiode) das typische Mammalien-Kranium entwickelt hat. Nun ist ja aber dieser Wirbeltier-Schädel deshalb so wichtig, weil er die Schutzkapsel für das eingeschlossene Gehirn bildet, das zentrale Seelenorgan der Vertebraten. Wenn wir nun dieselbe Methode der kritischen Vergleichung auf die Psychologie unseres Stammes anwenden, so überzeugen wir uns, wie der historische Entwicklungsgang unserer Seele (als Funktion des Gehirns, als „Arbeit seiner Neuronen“) genau demjenigen ihres Zentralorgans entspricht. Demgemäß kann der wissenschaftliche Erkenntniswert der komparanten Psychologie und ihrer Synthese nicht stark genug betont werden, gegenüber den Ansprüchen der modernen „physiologischen Psychologie“, welche nur durch „exakte Beobachtung der einzelnen Seelenerscheinungen“ und durch Versuch, also durch spezielle Analyse, in das Wesen des Seelenlebens eindringen will.

Fühlung (Ästhesis). Die „Weltseele“ (Psychoma) ist als psychophysisches Prinzip eines der drei „Essential-Attribute“ aller Substanz; sie ist überall mit den beiden anderen Grundeigenschaften (Energie und Materie) untrennbar verbunden, ebenso in der organischen („belebten“), wie in der anorganischen („leblosen“) Natur. Als Fühlung oder unbewußte „Empfindung“ ist sie die wirkliche „Innerung“ der Substanz, im Gegensatze zu deren „Äußerung“, der Energie. Die Fühlung unterscheidet das Subjekt von der Umgebung der Außenwelt (dem Objekt), während die Energie als „Kraft“ auf sie wirkt (sich äußert). In der Ästhese stehen sich zwei wechselnde „Urzustände“ gegenüber, das positive Lustgefühl als Neigung oder Attraktion, das negative Unlustgefühl als Widerstand oder Repulsion. Der Antagonismus der positiven und negativen Fühlung entspricht der alten Lehre vom „Lieben und Hassen der Elemente“.

Die unbewußte Empfindlichkeit aller Materie, der anorganischen ebenso wie der organischen — im Zusammenhang mit ihrer Beweglichkeit — hat vom Standpunkte der spekulativen Physik neuerdings namentlich Gustav Le Bon in seinem Werke über „Die Entwicklung der Materie“ hervorgehoben.*) Auch die

*) Gustave Le Bon, Die Entwicklung der Materie. (Paris.) Deutsche Übersetzung der 12. Auflage von Max Iklé. Leipzig 1909. Im

Änderung des materiellen Gleichgewichts unter dem Einflusse der Umgebung, sowie der Veränderlichkeit der chemischen Arten sind hier anregend erörtert, ebenso die wichtigen Beziehungen der Molekularphysik und besonders der modernen Theorie der Elektrizität zur Entwicklungslehre. Die verschiedenen Gleichgewichtsformen der Materie, die auch in der Statotaxis gestaltend erscheinen, entspringen aus anziehenden und abstoßenden Kräften, die zwischen den isolierten materiellen Molekülen herrschen, aber auf deren Psychom zurückzuführen sind. Der innige Zusammenhang zwischen „Empfindung und Bewegung" (= Fühlen und Wollen) wird überall durch unsere monistische Psychomtheorie erklärbar.

Erhaltung der Fühlung (Konstanz des Psychoms). Wenn meine psychomatische Theorie richtig ist, wenn alle Substanz — ebenso anorganische wie organische — Fühlung oder Ästhese besitzt, dann muß das allgemeine „Erhaltungsgesetz" mit demselben Rechte auf sie angewendet werden, wie auf die beiden anderen Attribute: „Kraft und Stoff". Das große Gesetz von der „Erhaltung der Materie" wurde schon 1789 durch Lavoisier aufgestellt; das entsprechende Gesetz von der Erhaltung der Kraft durch Robert Mayer erst 1842. Obgleich der Zusammenhang beider Gesetze, den ich 1899 im 12. Kapitel der Welträtsel unter dem Begriff des Substanzgesetzes formuliert habe, für die monistische Naturbetrachtung selbstverständlich erscheint, wird er doch von der dualistischen Philosophie noch heute bestritten. So wird es wohl noch lange dauern, bis auch die Erhaltung der Fühlung in das Substanzgesetz aufgenommen und damit die Trinität seiner Attribute anerkannt wird. Die unbefangene Betrachtung des beständigen Wechsels der beiden Urzustände: Attraktion und Repulsion — das Gegenspiel des positiven und negativen Tropismus bei aller Entwicklung, erscheint notwendig, wenn wir den allgemeinen Zusammenhang von Fühlung und Bewegung im universalen Leben der Materie anerkennen.

---

5. Buche dieses Werkes sind namentlich die wichtigen Probleme der Leptonik oder „Molekular-Physik" von neuen Gesichtspunkten aus behandelt, die hier nur flüchtig gestreift werden konnten: „Die Eigenschaften der Übergangs-Substanzen zwischen Masse und Äther"; „Die Elektrizität als eine aus der Dematerialisation der Materie entspringende Substanz" usw. Obgleich manche Spekulationen von Le Bon sehr problematisch und gewagt erscheinen, ist doch sein bestimmtes Eintreten für die Empfindung aller Substanz sehr bemerkenswert.

Molethynen (Molekulare Richtkräfte). Die eigentümlichen Molekularkräfte, welche den charakteristischen inneren Bau der geformten Materie, insbesondere die geometrische Symmetrie im Aufbau der Kristalle bedingen, werden von Lehmann als „molekulare Richtkräfte" bezeichnet. Da ein bestimmter wissenschaftlicher Terminus für ihre Unterscheidung von anderen Molekularkräften fehlt, wollen wir sie kurz als Molethynen*) bezeichnen, indem wir eine bestimmte psychomatische Eigenschaft mit der materiell-physikalischen verbinden. Wir stützen uns dabei zunächst auf die Hypothese des Raumgitters, wie sie von der neueren Kristallographie allgemein angenommen ist. Fritz Rinne, der in seiner „Leptonenkunde" (1917) die hohe Bedeutung dieser eigentümlichen „Richtkräfte" gebührend gewürdigt hat, gibt daraufhin folgende Charakteristik der „kristallinen Materie": „Die dreidimensional-periodische und damit geradlinige Anordnung gleicher Partikel, verbunden mit der Fähigkeit beliebig ausgedehnter Weiterführung des Baues in der nämlichen geometrischen Periodizität durch den Wachstumsvorgang ohne Änderung der chemischen Natur des Stoffes" (l. c. p. 54). Rinne weist dort auch mit Recht darauf hin, daß die „flüssigen Kristalle" für diese allgemein wichtigen Fragen von höchstem Interesse sind, da sie unmittelbar den Übergang von den Flüssigkeiten zu den „starren Kristallen" vermitteln.

Moletropismus. Wenn wir unter dem Begriffe Moletropismus oder Moletaxis eine besondere Form der Molekularbewegung in einer bestimmten Richtung verstehen, so muß diese elementare Energieform als ein primitives Fühlen und Wollen, als eine besondere Art der Molekularkräfte betrachtet werden, welche von der Kohäsion und Adhäsion, ebenso wie von der Affinität und Gravitation, wesentlich verschieden ist. Für seine richtige Beurteilung scheint mir die Vergleichung der Sterrokristalle mit den Kristall-Skeletten der Radiolarien von hohem Werte zu sein. Denn das Gleichgewichtsgefühl dieser letzteren, das „Lustgefühl der Statotaxis", das bei diesen einzelligen Protisten die gesetzmäßige geometrische Bildung des sterrokristallinischen Skeletts bedingt, kann auch für die ganz analoge Anisotropie der mineralischen Sterrokristalle zur Erklärung der gesetzmäßigen Forma-

*) Molethynos = zusammengesetzt aus „Moles" (gr. Molos) = Masse und „Thynos" (gr.) = Schnelle Bewegung, abgeleitet von „Thyno" (gr.) = Eilen. (Daher auch der Name „Thynnos" für Tunfisch.)

tion herangezogen werden. Es bedarf kaum der Erwähnung, daß diese unbewußte Seelentätigkeit, auf „Fühlen und Wollen" der Moleküle beruhend, mit den sogenannten „Dominanten", den zweckmäßig handelnden Richtkräften des Vitalismus und seiner „Entelechie", nichts zu schaffen hat; sie enthält durchaus kein mystisches und teleologisches Prinzip; sie ist eine psychomatische Erscheinung rein physikalischer Natur.

Mneme (Erinnerung). Zu den bedeutendsten Förderungen unserer allgemeinen Naturerkenntnis, welche wir dem Jahre 1904 verdanken, gehört nächst der Entdeckung der flüssigen Kristalle und der kernlosen Zellen das gleichzeitig erschienene Werk von Richard Semon (München) über „Die Mneme als erhaltendes Prinzip im Wechsel des organischen Geschehens". In dieser hervorragenden Arbeit hat Semon, gestützt auf vieljährige tiefgründige Forschungen im Gebiete der Entwicklungsgeschichte, den überzeugenden Nachweis geführt, daß die seelischen Erscheinungen des Gedächtnisses, die jedermann aus seiner eigenen Innerung wohl vertraut sind, in ihrem tiefsten Wesen identisch sind und eng zusammenhängen mit den ontogenetischen Erscheinungen der Vererbung, mit den Äußerungen des lebendigen Plasma, die uns in der individuellen Entwicklung jedes Organismus sichtbar entgegentreten. Die Ähnlichkeit beider Erscheinungsreihen ist tatsächlich so auffallend, daß der Sprachgebrauch schon längst für beide den gemeinsamen Begriff der Reproduktion eingeführt hat. Das Gedächtnis oder die „Er-Innerung" wiederholt in der seelischen Arbeit unseres Gehirns die mannigfachen Eindrücke, welche im Laufe des individuellen persönlichen Lebens durch Erfahrung, Unterricht, Anpassung usw. aufgenommen wurden. Die Keimesgeschichte anderseits wiederholt in der Entwicklung des Keimes aus dem befruchteten Ei und in seiner nachfolgenden Metamorphose die wichtigsten von den Verwandlungen der Ahnenreihe, welche im Laufe ungezählter Jahrmillionen und Generationen durch Vererbung innerhalb der Geschlechter-Folgen übertragen wurden. Diese „Er-Äußerungen" werden ebenfalls „reproduziert".

Der bedeutungsvolle Gedanke von der wesentlichen Identität beider „Reproduktions-Erscheinungen" wurde zuerst bestimmt und klar ausgesprochen von dem Physiologen Ewald Hering (Leipzig) in dem berühmten, 1870 vor der Wiener Akademie gehaltenen Vortrag: „Über das Gedächtnis als eine allgemeine Funktion der organischen Materie". Ich selbst versuchte sodann dieses

wichtige Prinzip auf die gesamten Erscheinungen der organischen Entwicklung auszudehnen und durch Verknüpfung der ontogenetischen und morphologischen mit den paläontologischen Tatsachen eine festere psychomatische Basis für mein „Biogenetisches Grundgesetz" zu gewinnen. In der Abhandlung über „Die Perigenesis der Plastidule"*) legte ich Nachdruck auf die psychischen Eigenschaften der kleinsten Lebensteilchen und wendete das mechanische Prinzip der übertragenen Bewegung auf die „verzweigte Wellenbewegung dieser Plastidule als die bewirkende Ursache des biogenetischen Prozesses" an. „Die Erblichkeit ist das Gedächtnis der Plastidule; die Variabilität ist die Fassungskraft der Plastidule." Die verwickelten Beziehungen, welche bei allen Organismen im Laufe ihrer Stammesgeschichte zwischen der Vererbung (Hereditát) und der Anpassung (Adaptation) bestehen, hat Richard Semon in seiner Mneme auf das eingehendste erörtert. In einer neueren Fortsetzung dieses grundlegenden Werkes (1909) sind insbesondere die „mnemischen Empfindungen in ihren Beziehungen zu den Originalempfindungen" ausgezeichnet behandelt.

Hysteresis (Anorganisches Gedächtnis). Im 18. Kapitel meiner „Lebenswunder" (die 1904 gleichzeitig mit Semons „Mneme" erschienen) hatte ich das „Psychoma als allgemeine Empfindung aller Substanz" darzustellen versucht. Dabei legte ich besonderes Gewicht auf die Macht der Gewohnheit; denn sie führt als eine der wichtigsten Formen der Anpassung einerseits durch Vererbung hinauf zu den Instinkten der Tiere und Pflanzen, anderseits durch ethische Fortbildung der sozialen Instinkte zur Mode und Sitte des Menschen, zuletzt zu der bewußten Ausbildung von Recht und Pflicht bei dem vernünftigen Kulturmenschen. Zugleich hatte ich aber daselbst darauf hingewiesen, daß eine Gewöhnung, d. h. eine Veränderung in der materiellen Substanz und ihrer Energie durch die Wiederholung einer bestimmten Tätigkeit, auch im Bereiche der anorganischen Natur vorkommt; ich bezog mich dabei besonders auf die Ausführungen von Wilhelm Ostwald, der in seinen gedankenreichen Vorlesungen über Naturphilosophie schon 1902 auf die hohe Bedeutung dieser anorganischen Gewöhnung und ihre Verwandtschaft mit dem „unbewußten Gedächt-

---

*) Über die Wellenzeugung der Lebensteilchen oder die Perigenesis der Plastidule. Vortrag gehalten am 18. November 1875 in der Naturwissenschaftlichen Gesellschaft zu Jena. II. Band meiner Gesammelten gemeinverständlichen Vorträge und Abhandlungen. 2. Auflage. Bonn 1902.

nis" hingewiesen hatte. Ostwald betont mit Recht, daß „die wichtigste Leistung der Organismen die Umwandlung der verschiedenen chemischen Energien ineinander ist; jede Zelle ist ein chemisches Laboratorium, in welchem die mannigfaltigsten Reaktionen ohne Öfen und Retorten durchgeführt werden". Die katalytische Beschleunigung eines bestimmten chemischen Prozesses bewirkt durch „Gewohnheit" in der anorganischen Substanz ähnlich bleibende Veränderungen, wie die Enzyme in den Organismen. Neuerdings hat besonders Walter Hirt in seinem „Leben der anorganischen Welt" (1914) diese Vergleichung der seelischen Vorgänge in den Organismen und den Anorganen durchgeführt und die Analogie der Mneme mit der Hysteresis betont, den Veränderungen, welche z. B. Metalle durch wiederholte magnetische und elektrische Reize erleiden. Das mehrfach magnetisierte Eisen „erinnert sich" an die vorausgegangenen Magnetisierungen und reagiert auf neue Reize anders als früher.

Katalyse. Ebenso wie die physikalischen Erscheinungen der Hysterese, sind auch die chemischen Prozesse der Katalyse uns nur verständlich durch psychomatische Erklärung. Die wichtigen Phänomene der Katalyse, um deren genaue Erforschung sich namentlich Wilhelm Ostwald die größten Verdienste erworben hat, erregten schon 1810 großes Aufsehen; gewisse Körper veranlassen durch ihre bloße Gegenwart — nicht durch chemische Verwandtschaft! — andere Körper zu Zersetzungen und Verbindungen, ohne daß sie selbst sich dabei verändern. Auch diese rätselhafte „Kontaktwirkung" (Zersetzung durch Berührung), die namentlich in den organischen Vorgängen der Fermentation (Gärung, Enzymwirkung) eine wichtige Rolle spielt, läßt sich nur durch unsere psychomatische Annahme erklären, daß alle Substanz nicht nur mit Energie, sondern auch mit Fühlung begabt ist. (Näheres darüber habe ich im 2. Kapitel der „Lebenswunder" mitgeteilt.)

Biogenetisches Grundgesetz (1866). Dieses mechanische „Grundgesetz der organischen Entwicklung" — der wahre „Kausalnexus zwischen Ontogenie und Phylogenie" — ist seit dem halben Jahrhundert seines Bestehens so vielfach Gegenstand lebhafter Erörterung gewesen und hat sich in tausenden wertvoller Arbeiten so glänzend schöpferisch bewährt, daß es überflüssig erscheinen könnte, ihm hier noch eine beiläufige Erwähnung zu gewähren. Und doch ist dies wichtig, einerseits wegen seiner nahen Beziehungen zu unserer Psychomatik und besonders zur „Mneme"

von Richard Semon; anderseits, weil es noch immer zahlreichen Angriffen und Mißverständnissen ausgesetzt ist. Die allgemeinen Grundsätze der neuen Biogenie, wie sie durch die „von Charles Darwin reformierte Deszendenztheorie“ mechanisch-kausal begründet werden kann, hatte ich bereits im V. und VI. Buche meiner „Allgemeinen Entwicklungsgeschichte“*) formuliert. Ihre fruchtbare praktische Anwendung versuchte ich acht Jahre später in meiner „Anthropogenie“.**) Hier ist an jedem einzelnen Organ und Organsystem unsers menschlichen Organismus nachgewiesen, wie man das Verständnis seines individuellen Werdens im kurzen Verlaufe der Keimesgeschichte nur gewinnen kann durch enge Beziehung zu seiner historischen Umbildung im langen Verlaufe der Stammesgeschichte. Hier ist auch eine scharfe Fassung des Biogenetischen Grundgesetzes in folgendem Satze gegeben (S. 11): „Die Keimesentwicklung (Ontogenesis) ist eine gedrängte und abgekürzte Wiederholung der Stammesentwicklung (Phylogenesis); und zwar ist diese Wiederholung um so vollständiger, je mehr durch beständige Vererbung die ursprüngliche Auszugsentwicklung (Palingenesis) beibehalten wird; hingegen ist die Wiederholung um so unvollständiger, je mehr durch wechselnde Anpassung die spätere Störungsentwicklung (Cenogenesis) eingeführt wird.“

Viele Gegner des Biogenetischen Grundgesetzes sind dadurch irre geführt, daß sie alle Erscheinungen der Embryologie auf die primäre Palingenese beziehen und nicht die wichtigen Störungen verstehen, welche durch die sekundäre Cenogenese im Laufe vieler Jahrmillionen eingeführt worden sind. Viele andere Gegner, namentlich sogenannte „exakte Embryologen“, wollen überhaupt die Stammesgeschichte nicht anerkennen; es fehlen ihnen dazu auch die unentbehrlichen Vorbedingungen: gründliche Kenntnisse in Paläontologie und vergleichender Anatomie. Einige von diesen embryologischen Spezialisten, deren ganzes Interesse von

---

*) Allgemeine Entwicklungsgeschichte der Organismen (1866); II. Band der Generellen Morphologie; V. Buch: Generelle Ontogenie (Embryologie und Metamorphologie); VI. Buch: Generelle Phylogenie (Genealogie und Paläontologie). Vgl. besonders die Ontogenetischen und Phylogenetischen Thesen im 20. und 26. Kapitel, abgedruckt in den „Prinzipien der Generellen Morphologie“ (Berlin 1906) S. 243 u. 405. „Thesen von dem Kausal-Nexus der biontischen und phyletischen Entwicklung“.

**) Anthropogenie oder Entwicklungsgeschichte des Menschen, Leipzig 1874; 6. umgearbeitete Auflage 1910, mit 500 Textfiguren, 30 Tafeln und 60 genetischen Tabellen.

den kleinsten Kleinigkeiten der Eibefruchtung und Gastrulation absorbiert wird, haben neuerdings das Biogenetische Grundgesetz durch ein seltsames „Ontogenetisches Kausalgesetz" vollständig ersetzen wollen und darauf eine neue Theorie der „Artzelle" gegründet. „Es gibt so viele spezifisch unterschiedene Zellen, als die Systematik in der Organismenwelt Arten unterscheidet" (d. h. so viele verschiedene Arten, als ursprünglich erschaffen worden sind.*) Wenn diese „Spezieszelle" wirklich die „spezifischen Eigenschaften der organischen Spezies" in nuce enthält und unverändert von Generation zu Generation überträgt, so muß man notwendig eine „Konstanz der Spezies" annehmen und ihre Transmutation ablehnen. Die Deszendenz-Theorie würde damit hinfällig.

Psychomatische Skala. Die Stufenleiter in der Entwicklung des Seelenlebens, welche ich 1899 auf Grund der vergleichenden und genetischen Methode im 7. Kapitel der Welträtsel aufzustellen versuchte, betraf nur die fünf „psychologischen Gruppen der organischen Welt" und die entsprechenden morphologischen „fünf Bildungsstufen der Seelenorgane". Nun ist aber durch die Entdeckung der lebenden Kristalle und ihres „anorganischen Seelenlebens" die Skala der psychischen Entwicklungsstufen auch auf das Gebiet der ganzen anorganischen Welt, somit auf die Psychomatik der Substanz ausgedehnt worden. Wie ich in der Schrift über „Gott-Natur" (1914) zu zeigen versucht habe, muß das Attribut der unbewußten Fühlung (Ästhesis) auch auf alle anorganischen Naturkörper ausgedehnt und demgemäß aller Substanz eine innere Seelentätigkeit zugeschrieben werden. Diese „Innerung", wie sie Heinrich Schmidt in seinem Philosophischen Wörterbuch nennt, ist der subjektive psychische Zustand der Substanz, welcher in den verschiedenen „Äußerungen" sein objektives physisches Korrelat besitzt. Die moderne „physiologische Seelenlehre" läßt sich als „Psychologie der Äußerung" bezeichnen, im Gegensatze zur eigentlichen reinen Seelenkunde, als „Psychologie der Innerung". Beide müssen sich in ihrer Vollendung vollkommen decken und ergänzen.**)

Ätherseele (Psychom des Weltäthers). Die wirkliche Beschaffenheit des imponderablen Äthers und sein Verhältnis zur

*) „Tot sunt diversae species, quot ab initio creavit infinitum ens" (Linné).

**) Heinrich Schmidt (Jena), Philosophisches Wörterbuch (3. Aufl. 1918). Kröner, Leipzig.

ponderablen Masse gehört noch heute zu den schwierigsten und umstrittensten Fragen der Physik. Selbst die Fortschritte der theoretischen und mathematischen Elektrik in neuester Zeit haben hier keine volle Klarheit gebracht. Während die eine Gruppe der spekulativen Physiker das „Ätherproblem" für die wichtigste Hauptfrage der ganzen Physik erklärt, betrachtet eine zweite Gruppe dasselbe als eine unsichere Hypothese und eine dritte Gruppe leugnet sogar die Existenz des Äthers überhaupt. Diese letzteren setzen an seine Stelle das Vakuum, den „leeren Raum". Alle stimmen zwar darin überein, daß der problematische „Lichtäther" der Träger des Lichtes und der Elektrizität ist; sie messen und berechnen die Länge der Lichtwellen und der elektrischen Wellen; aber gleichzeitig behaupten viele „exakte" Physiker, daß diese Erscheinungen nicht vom Äther, sondern vom Vakuum bewirkt werden. Für unser logisches Denken ist diese Vorstellung unfaßbar; denn der „leere Raum" ist ein rein negativer Begriff, das absolute „Nichts". Daher können wir den hypothetischen Äther gar nicht entbehren, wenn wir uns auch über seine besonderen physikalischen Eigenschaften, namentlich seinen „Aggregatzustand" und seine eigentliche „Struktur" keine sichere Vorstellung bilden können. Nach unserer persönlichen „Dilettanten-Anschauung" ist der Weltäther (als „raumerfüllend"!) wirkliche „Materie", aber durch seinen eigentümlichen (ätherischen) Aggregatzustand und den Mangel „körniger Struktur" von der schweren Masse verschieden. Irgendein psychomatisches Verhältnis zwischen dem leichten Weltäther als „gespannter Materie" und der schweren Masse als „verdichteter Materie" muß wohl jedenfalls angenommen werden, gleichviel ob man den Substanzbegriff in kinetischer oder in pyknotischer Auffassung definiert.*) (Vgl. unten Tabelle VIII im Anhang.)

Elektronseele. Die Fortschritte der modernen Elektrik (seit Heinrich Hertz 1888) haben uns im Beginn des 20. Jahrhunderts

*) Der Gegensatz zwischen dem kinetischen Substanzbegriff (Urprinzip der Schwingung oder Vibration) und dem pyknotischen Substanzbegriff (Urprinzip der Verdichtung oder Pyknose) ist von mir (— als Dilettanten in der höheren Physik! —) im 12. Kapitel der „Welträtsel" nur kurz angedeutet worden. J. G. Vogt (Leipzig), der 1897 „Das Wesen der Elektrizität und des Magnetismus auf Grund eines einheitlichen Substanzbegriffes" von neuen Gesichtspunkten aus erläutert hatte, gab 1912 eine nähere Begründung seiner originellen Theorie in dem Werke: „Der absolute Monismus, eine mechanistische Weltanschauung auf Grund des pyknotischen Substanzbegriffes" (Hildburghausen).

zu einer wesentlichen Erweiterung der Atomistik geführt. Die herrschende und wohlbegründete Annahme der meisten Physiker ist jetzt, daß die letzten Elemente oder Urbestandteile der Materie nicht die Atome sind, sondern die Elektronen. Diese kleinsten „Korpuskula“ oder „Elementar-Quanten der Elektrizität“ sind in sich vollkommen einfach und strukturlos, nicht weiter aus kleineren Teilchen zusammengesetzt. Nach Mie*) sind sie „nichts weiter als singuläre Stellen des Weltäthers, nämlich Stellen, wo die elektrischen Spannungslinien des Äthers zusammenlaufen; kurz gesagt: Knotenstellen der elektrischen Felder im Äther“. Über die eigentliche „Substanz“ dieser rätselhaften Urteile der Materie und ihrer Energie gehen aber die hypothetischen Ansichten der modernen Physiker noch sehr auseinander. Während die „Materialisten“ auch diese kleinsten „Urbestandteile“ als wirklich materiell — d. h. „ausgedehnt und raumerfüllend“ — ansehen, wollen dagegen die reinen „Energetiker“ ihnen keine Masse zugestehen, sondern sie bloß als „bewegte Kraftfelder“ aufgefaßt wissen. Dabei kommt dann vor allem in Betracht der Antagonismus zwischen den positiven und negativen Elektronen, den beiden polaren und doch zusammengehörigen Gegenkräften jedes singulaten Elektrons; ihr Verhältnis ist trotz aller Fortschritte der hochentwickelten Elektrik immer noch nicht befriedigend aufgeklärt. Nach unserer monistischen Auffassung ist auch für die Elektronen, ebenso wie für die Atome und Moleküle, ein psychomatisches Prinzip notwendig anzunehmen, eine elektrische Fühlung, welche die Elementarteilchen im positiven Falle zur Anziehung (Lust), im negativen Falle zur Abstoßung (Unlust) veranlaßt. Die verschiedenen Arten der Atome sind durch verschiedenes Verhalten ihrer positiven und negativen Elektronen bestimmt. Goethe sagte schon 1825 in seinen Bemerkungen „Zur Meteorologie“: „Die Elektrizität ist das durchgehende Element, das alles materielle Dasein begleitet und ebenso das atmosphärische. Man kann sie sich unbefangen als ‚Weltseele‘ denken.“

Atomseelen (Psychomatische Chemie). Unsere moderne Chemie gründet sich in erster Linie auf das Gesetz der einfachen und multiplen Proportionen (Dalton 1804). Daraus ergab sich, daß die Moleküle der Masse aus kleinsten gleichartigen Teilchen zusammengesetzt sind, und daß diese Atome in ganz bestimmten

---

*) Mie, Moleküle, Atome, Weltäther. Leipzig, 3. Aufl., 1911.

Gewichtsverhältnissen miteinander zu chemischen Verbindungen zusammentreten. Diese letzten unterscheidbaren Elementarteilchen sind die chemischen Singulate der ponderablen Materie. Die „Atomistik", die Theorie, daß das ganze Weltleben auf die mechanische Bewegung solcher Atome zurückzuführen ist, wurde schon vor 2300 Jahren von dem großen ionischen Naturphilosophen Demokritos (400 v. Chr.) aufgestellt und namentlich von Epikuros und Lukretiüs (44 v. Chr.) vertreten. Aber ihre sichere empirische Begründung erhielt sie erst durch die mathematische Bestimmung der verschiedenen Atomgewichte. Die unendlich mannigfaltige Verkettung der verschiedenen Atome, für deren Gesetze die moderne Chemie bestimmte mathematische Formeln aufgestellt hat, ist die mechanische Ursache der verwickelten Erscheinungen, welche unter dem Begriffe der „Wahlverwandtschaft" zusammengefaßt werden. Nun sind zwar die Äußerungen des Atomlebens, wie sie unsere fortgeschrittene Chemie in großartigem Maßstabe erkannt und exakt festgestellt hat, sicher rein mechanisch, ohne teleologischen Hintergrund. Allein seine Innerungen, die uns erst ihr tieferes Verständnis eröffnen, sind nur durch psychomatische Deutung zu ermitteln, durch die Erforschung der unbewußten Atomfühlung, welche als Chemästhese den wichtigsten Charakter der wirklichen „Atomseele" ausmacht.

Wahlverwandtschaft (Affinität). Der grundlegende psychomatische Gedanke unseres Monismus, daß alle Substanz beseelt ist, war schon im 5. Jahrhundert v. Chr. den alten griechischen Naturphilosophen geläufig. Empedokles von Agrigent gab ihm bereits Ausdruck in seiner Lehre vom „Lieben und Hassen der Elemente". Ursprünglich sind nach der monistischen Vorstellung dieser alten ionischen Psychomatiker die Teile in einer Kugel harmonisch vereinigt; es herrscht Ruhe, Liebe und Freundschaft. Dann tritt Störung ein infolge von erwachendem Haß und Streit. Die Teile trennen und bekämpfen sich; der Zerfall der Einzelteile trennt sie voneinander. Erst wenn das Gleichgewicht der entgegengesetzt wirkenden Kräfte wieder hergestellt ist, kehrt die Materie zum „Sphaeros" zurück. In der Erörterung der chemischen Affinität, die ich im 12. Kapitel der „Welträtsel" gegeben habe, wies ich darauf hin, wie tiefblickend schon Goethe in seinem klassischen Roman: „Die Wahlverwandtschaften" die Gleichartigkeit dieser Verhältnisse mit den erotischen Leidenschaften des

Menschen erkannt hatte und wie unsere moderne „Zellular-Psychologie“ dieselbe bestätigt hat. „Wir gründen darauf unsere Überzeugung, daß auch schon den Atomen die einfachste Form der Empfindung und des Willens innewohnt — oder besser gesagt, der ‚Fühlung‘ (Ästhesis) und der Strebung (Tropesis) — also eine universale Seele primitivster Art.“ Ich glaube, daß diese Auffassung, welcher ich auch in der vierten synoptischen Tabelle der „Gott-Natur“ (S. 67) präzisen Ausdruck gegeben habe, durch die vorliegenden kristallotischen und probiontischen Erörterungen eine weitere feste Begründung erhalten hat. (Vgl. unten Tabelle VIII im Anhang, S. 152.)

Psychomatik der Elemente („Elementar-Seelenkunde“). **Anorgik und Biologie.** Die sogenannten chemischen Elemente, deren Zahl jetzt ungefähr 80 beträgt, verhalten sich sehr verschieden in ihren Verwandtschafts-Beziehungen und somit auch in dem psychomatischen Charakter, der diesen zugrunde liegt. Beinahe drei Viertel derselben (56—58) gehören zu der Hauptgruppe der Metalle, die nach ihrem Gewicht in Leichtmetalle und Schwermetalle eingeteilt werden; sie stimmen trotz ihrer vielfachen Unterschiede alle überein in vielen gemeinsamen Charakterzügen, sowohl in bezug auf mechanische und thermische, wie auf optische und elektrische Eigenschaften. Dadurch stehen die Metalle in auffallendem Gegensatz zu der zweiten Hauptgruppe, den Metalloiden oder „Nichtmetallen“, deren Zahl 20—22 beträgt. Da diese Metalloide in bezug auf ihre physikalischen und chemischen Verhältnisse, und besonders auf ihre Affinität, vielfach abweichen, werden sie nach ihrer Valenz oder Wertigkeit in vier verschiedene Gruppen eingeteilt: einwertig sind Wasserstoff, Chlor, Brom, Jod, Fluor; zweiwertig sind Sauerstoff, Schwefel und Selen; dreiwertig sind Stickstoff, Phosphor, Arsen, Antimon, Bor; vierwertig sind Kohlenstoff, Silizium, Germanium. Als eine fünfte Gruppe, die sich durch außerordentlich geringe Wahlverwandtschaft auszeichnet, werden die neuerdings entdeckten Edelgase unterschieden (Helium, Neon, Argon, Krypton, Xenon). Die höchst mannigfaltigen und wichtigen Beziehungen, welche diese 80 Elemente — und vor allen die zwanzig Metalloide — in ihren unzähligen Verbindungsformen zeigen, sind von der modernen Chemie erfolgreich auf ihre Äußerungen untersucht und mathematisch bestimmt worden. Auch sind sie nach ihren gruppenweisen Verwandtschaften in dem „periodischen System

der Elemente" in 8—10 Hauptgruppen verteilt und innerhalb derselben nach der Größe ihrer Atomgewichte so geordnet worden, daß die chemisch ähnlichen Elemente natürliche Familienreihen bilden. Diese chemischen „Verwandtschafts-Beziehungen" erinnern vielfach an die ähnlichen Verhältnisse der organischen Formengruppen, die im natürlichen phyletischen System der Tiere und Pflanzen als Spezies unterschieden werden. Wie diese „Arten" durch Transmutation aus gemeinsamen einfachen Stammformen hervorgegangen sind, so sind wahrscheinlich auch die achtzig Elemente, als verschiedene „Spezies der Masse", aus einem gemeinsamen Urstoff, dem hypothetischen Prothyl, entstanden. Die ungeheuren Hitzegrade, die unser Planet gleich allen anderen Weltkörpern in einem frühen Zustande seiner Entwicklung, als glutflüssige Kugel, besessen hat, und die damit verbundene Dissoziation der Elemente, müssen ganz andere Beziehungen derselben nicht nur in physikalischer und chemischer, sondern auch in psychomatischer Hinsicht bedingt haben. Im Hinblick auf diese „Entwicklung der Materie" bleibt der monistischen Psychomatik noch ein weites Feld fruchtbarer Spekulation. Aber auch die Affinität der gegenwärtig permanenten und nicht weiter zerlegbaren Elemente, die Innerung der Atome und ihrer „Wahlverwandtschaft", wird noch viel verständlicher werden, wenn wir bei jedem chemischen Prozeß die Bewegungen der Atome und Moleküle im kausalen Zusammenhang mit ihrer „Reizbarkeit" und ihren Fühlungen verfolgen. Die mannigfaltigen Abstufungen der Temperamente und Leidenschaften in unserem menschlichen Fühlungsleben, die zahlreichen Intensitätsgrade unserer persönlichen Zuneigung (= Lustfühlung) und Abneigung (= Unlustfühlung) lassen uns entfernt ahnen, welche wichtige Rolle im chemischen Affinitätsleben der Elemente der ewige Wechsel von Attraktion und Repulsion ihrer Atome spielt.

Karbonseele (Psychomatik des Kohlenstoffs). Das wunderbare Element, welches als der eigentliche „Schöpfer" der ganzen organischen Welt betrachtet werden muß, ist der vierwertige Kohlenstoff (Carboneum). „Wir müssen die chemische und physikalische Natur des Kohlenstoffs, und vor allem seine in ihrer Art einzige Fähigkeit, mit anderen Elementen höchst komplizierte Verbindungen einzugehen, als die erste und letzte, als die einzige Ursache aller derjenigen Eigentümlichkeiten ansehen, welche die sogenannten anorganischen Verbindungen von den

organischen unterscheidet."*) Diese „Karbogentheorie", die ich 1866 im 5. Kapitel der „Generellen Morphologie" zuerst aufgestellt und später in anderen Schriften weiter ausgeführt habe, ist zwar vielfach bekämpft, aber niemals widerlegt worden. Sie hat die wertvollste Bestätigung und Erweiterung durch die gleichzeitig 1904 erschienenen oben erwähnten Arbeiten gefunden. Denn die Lebenserscheinungen der Rheokristalle und der Probionten sind ebenso durch Fühlen und Wollen der Karbonseele bedingt, wie diejenigen der Protisten und Histonen; und die psychomatische Skala (Tabelle V im Anhang) führt uns von den niederen Stufen der letzteren wieder durch eine lange Reihe von Zwischenstufen zu den verwickelteren Seelentätigkeiten der höheren Organismen hinauf. Auch für die Seelenzellen des menschlichen Gehirns, die höchst entwickelten „Geistesorgane", die wir kennen, ist die erste und älteste historische Quelle in der Phylogenie der Karbonseele zu suchen; sie hat sich im Laufe von mehr als hundert Jahrmillionen mit anderen organogenen Elementen zur Bildung des Plasma, und abermals viel später zur Komposition des Psychoplasma verbunden. Das Psychom des Kohlenstoffs ist aber nicht bloß in der organischen, sondern auch in der anorganischen Welt durch besondere Eigenschaften vor den übrigen Elementseelen ausgezeichnet, so z. B. durch die gewölbten Flächen und die gekrümmten Kanten, welche die oktaedrischen Kristalle des Diamanten zeigen. Carus Sterne (Ernst Krause) und Wilhelm Bölsche haben in ihrem ausgezeichneten Werke „Werden und Vergehen" sehr anregende Betrachtungen über diese und andere wichtige Beziehungen des Kohlenstoffs angestellt.**)

Molekülseele (Psychomatische Molekularphysik). Die Fortschritte der Physik und Chemie im 19. Jahrhundert haben zu

*) Generelle Morphologie, 1866, I. Band, S. 120—122. Der Grundgedanke der Karbogen-Theorie war eigentlich nur die biologische Konsequenz der bahnbrechenden Fortschritte der theoretischen Chemie, welche Kekulé (Bonn) 1858 durch seine Theorie der Vierwertigkeit des Kohlenstoffs und seine neue Benzoltheorie (1865) herbeigeführt hatte. Kekulé bezeichnet treffend das ganze Forschungsgebiet der sogenannten „Organischen Verbindungen" als die „Chemie der Kohlenstoff-Verbindungen".

**) Carus Sterne, Werden und Vergehen, Eine Entwicklungsgeschichte des Naturganzen in gemeinverständlicher Fassung. Berlin 1876. Sechste neubearbeitete Auflage von Wilhelm Bölsche, Berlin 1905. Dieses gedankenreiche und vorzüglich geschriebene Werk ist nicht nur gebildeten Laien, sondern auch denkenden Naturforschern ganz besonders zu empfehlen. Das dritte Kapitel: „Die Welt der Kristalle und Edelsteine", enthält viele allgemein interessante Gedanken.

der Erkenntnis geführt, daß alle Masse, d. h. aller wägbare Stoff, sich aus kleinsten Teilchen von einer bestimmten Größe und Beschaffenheit aufbaut, die wir Moleküle nennen. Diese gleichartigen Massenteilchen, die physikalischen Singulate der ponderablen Materie, welche erst durch die Chemie noch weiter in Atome zerlegt werden können, erfüllen den ganzen Raum, soweit er nicht von dem imponderablen Weltäther eingenommen ist. Innerhalb dieses unwägbaren Äthers bewegen sich die Moleküle; sie verändern ihre gegenseitige Lage und Entfernung voneinander. Die Kräfte oder „Energieformen", deren Äußerung dabei erkennbar zutage tritt, beruhen auf einer bestimmten Innerung, die wir nur psychomatisch verstehen und als „Molekülseele" deuten können. Die zwei antagonistischen Fühlungen, welche dabei überall gegeneinander wirken und als wechselnde „Urzustände" des Psychoms bezeichnet werden können, sind Lustgefühl, Neigung oder Attraktion der Moleküle (positiver Tropismus) und Unlustgefühl, Widerstand oder Repulsion der Massenteilchen (negativer Tropismus). Der Wechsel beider Urzustände ist bedingt durch die wechselnde Temperatur. Zunehmende Wärme treibt die Moleküle auseinander und dehnt den Körper aus; die beschleunigte Molekularbewegung bewirkt dann Änderung des Aggregatzustandes; der flüssige Zustand, in welchem die Teilchen zwar zusammengehalten, aber frei verschiebbar sind, geht über in den gasförmigen, in dem die Massenteilchen sich gegenseitig abstoßen und frei „nomadisierend" nach allen Richtungen gesetzlos bewegen. Bei abnehmender Temperatur dagegen „erstarrt" die Flüssigkeit oder „kristallisiert", sie geht in den fest-flüssigen und zuletzt in den festen Zustand über. Der Grad der Flüssigkeit wird bedingt durch die innere Reibung der Moleküle. Die Anziehungskraft der sich berührenden Moleküle, welche die gleichartigen Teile eines Körpers zusammenhält, wirkt als Kohäsion oder „Zusammenhangskraft", dagegen in zwei verschiedenen Körpern als Adhäsion oder „Anhangskraft". In beiden Fällen hält das „Lustgefühl", als positiver Tropismus, die so aneinander haftenden Massenteilchen zusammen. Von diesen allgemein wirkenden Formen der aktuellen Energie oder „lebendigen Kraft" verschieden ist diejenige Kraft, welche als Moletaxis oder Moletropismus die Kristallisation bewirkt (S. 92).

*) Gott-Natur (Theophysis), Studien über monistische Religion, 1914, S. 67, Drei Grundrichtungen der Substanzlehre.

Leptonik (Leptonenkunde) = Feinbaulehre der Stoffe. Unter dieser Bezeichnung hat kürzlich der Mineraloge Fritz Rinne (Leipzig) denjenigen Zweig der Physik zu einer besonderen Wissenschaft erhoben, welcher „die Eigenschaften und die Aggregation der unsichtbaren Feinbauelemente der Materie, der Moleküle, Atome und Elektronen behandelt".*) Wie Rinne zutreffend bemerkt, ist ein Fortschritt der Kristallographie von höchster Bedeutung durch die Entdeckung erzielt worden, daß Röntgenstrahlen beim Eintritt in Kristalle gebeugt werden. Es sind dadurch „mit einem Schlage drei große wissenschaftliche Werte gewonnen: die Natur der Röntgenstrahlen als außerordentlich kleinwellige Lichtbewegung sichergestellt, die Kristalle als Raumgitter bestätigt und die mehr als zweitausendjährige Frage nach der Existenz der Atome in bejahendem Sinne experimentell beantwortet". Wenn Rinne richtig betont, daß Chemie und Physik, Kristallographie und Naturphilosophie gleichmäßig an diesem Thema interessiert sind, so möchte ich noch ergänzend hinzufügen, daß das besonders auch für die hier skizzierten Fragen der Biologie und der Psychomatik gilt. Gerade die vielen interessanten Probleme, auf welche mich das intensive Studium der Radiolarien seit sechzig Jahren immer wieder hingeführt hat, insbesondere ihre Vergleichung mit den festen und jetzt auch mit den flüssigen Kristallen, werden durch die vergleichende kritische Leptonik sicher noch vielfache Förderung erfahren.

Albuminseele (oder Proteinseele). Die „Seelentätigkeit der Eiweißkörper", d. h. die Energie und Ästhese der „albuminoiden Substanzen" ist eines der wichtigsten Kapitel unserer monistischen Psychomatik. Denn seitdem uns die reformierte Zellentheorie (1860) und besonders der sichere Nachweis der Zytoden, der kernlosen Zellen in den Probionten (1904), zu der Überlegung geführt hat, daß das Plasma, die aktive „lebendige Substanz", im wesentlichsten Teile aus „Eiweißkörpern" besteht, ist das vergleichende Studium des Eiweißmoleküls zu einem Fundamental-Problem der Biologie geworden. Ich habe bereits im 6. Kapitel der „Lebenswunder" (1904) die wichtigsten allgemeinen Ergebnisse der zahllosen wertvollen Untersuchungen zusammengefaßt, welche im Laufe des letzten halben Jahrhunderts von Physikern und Chemikern, von Biologen und besonders Physiologen über die

*) Wochenschrift: „Die Naturwissenschaften", Berlin, Januar 1917, Heft 4, S. 49—56.

rätselvolle Natur der Eiweißkörper angestellt worden sind. Zur Ergänzung und mit Beziehung auf unsere Psychomatik mögen hier noch einige allgemein wichtige Punkte kurz hervorgehoben werden. Die unendliche Mannigfaltigkeit der chemischen Konstitution der Eiweißkörper (und speziell des lebendigen Plasma) erklärt sich zunächst durch die außerordentliche Größe ihrer Moleküle; jedes einzelne ist meistens aus mehr als hundert, oft über tausend Atomen zusammengesetzt und hat demnach ein sehr hohes Molekulargewicht. Für die Peptone ergibt sich aus den Spaltungsprodukten durchschnittlich ein Molekulargewicht zwischen 200 und 1000; das komplizierteste synthetische Peptid hat ein Molekulargewicht von 1213; — das Serumalbumin von 10166.*) Nächst dieser Riesengröße der Albuminmoleküle und der ungewöhnlich hohen Zahl der sie zusammensetzenden Atome ist besonders ihre verwickelte Struktur von höchster Bedeutung. Die moderne Stereochemie drückt deren mannigfaltige Gesetzmäßigkeit graphisch und in mathematischen Formeln aus. Dieser komplizierte Aufbau ist aber zugleich in hohem Maße labil und veränderlich. Eine Verschiebung oder Umlagerung eines einzigen Atoms oder einer kleinen Atomgruppe genügt, um dem ganzen Eiweißmolekül einen anderen chemischen Charakter zu verleihen. Diese hohe Plastizität, in Anpassung an die Einflüsse der umgebenden Außenwelt, ist nur dadurch zu erklären, daß das Fühlen und Wollen der Albuminmoleküle einen besonders hohen Grad erreicht hat.

Zellseelen (Zellulare Psychomatik). Die Lehre von der „Zellseele“, als der Elementarerscheinung des organischen Seelenlebens (1866), hat im Beginn des 20. Jahrhunderts in weiten Kreisen Anerkennung gefunden, nachdem sie einerseits von den nächst interessierten empirischen Physiologen, anderseits von den spekulativen Psychologen von Fach vielfach ignoriert oder direkt bekämpft worden war. Da ich meine persönliche Auffassung dieses wichtigen Problems in meinem „Concordia-Vortrage“**) bereits gemeinverständlich erörtert und damit der 1866 aufgestellten „Zellular-Psychologie“ freie Bahn gebrochen, auch in anderen

*) Die chemische Formel des Serum-Albumin (= 10166) ist nach Hofmeister C_{450}, H_{720}, N_{116}, S_6, O_{140}; die Formel des Hämoglobin (= 16669) ist dagegen C_{758}, H_{1203}, N_{195}, O_{218}, $Fe\ S_3$.

**) „Zellseelen und Seelenzellen.“ Vortrag, gehalten am 22. März 1878 in der „Concordia“ zu Wien. (Leipzig, Kröner. Auch abgedruckt im I. Bande meiner Gesammelten gemeinverständlichen Vorträge. Bonn 1902.)

Schriften sie weiter auszubilden versucht hatte, kann ich mich hier darauf beschränken, kurz den Hauptgedanken der „Zellbeseelung" hervorzuheben. Dabei ist besonders die Reform zu betonen, welche dieselbe seit 1904 durch Semons Begründung der Mneme und jetzt durch die Verknüpfung mit der „Kristallseele" erfahren hat. Die auffallendsten Erscheinungen des Seelenlebens, Bewegung und Wille als „Äußerung", Empfindung und Reizbarkeit als „Innerung" — besonders auch die Er-Innerung (Mneme) —, kommen den lebenden Zellen ganz allgemein zu. Das gilt ebenso für die einzelligen Protisten, die selbständig als „Kernzellen" lebenden Protophyten und Protozoen, wie für die sozialen Gewebzellen, welche im vielzelligen Körper der Histonen, der gewebebildenden Metaphyten und Metazoen, den „Organismus" aufbauen.

Die Zellseele der Protisten, bei denen der einzellige Organismus seine psychomatische Individualität selbständig behauptet, zeigt eine lange Stufenleiter der Entwicklung von den kernlosen Probionten und den niedersten Stufen der kernhaltigen „Einzelligen" (Protophyten, Sporozoen, Amöbinen) hinauf zu den höheren Protozoen. Unter diesen erreichen einerseits die Rhizopoden (Radiolarien und Thalamophoren) in bezug auf morphologische Differenzierung, anderseits die Infusorien (Flagellaten und Ciliaten) hinsichtlich der physiologischen Vervollkommnung einen erstaunlichen Grad psychischer Leistungsfähigkeit. In seinen ausgezeichneten „Psychophysiologischen Protistenstudien" hatte schon 1889 Max Verworn auf Grund sinnreicher Experimente gezeigt, daß „die psychischen Vorgänge im Protistenreiche die Brücke bilden, welche die chemischen Prozesse in der unorganischen Natur mit dem Seelenleben der höchsten Tiere verbindet."*)

Die Gewebseele der Histonen, bei denen zahlreiche, sozial verbundene Zellen die höhere Individualitätsform der Gewebe (Hista) aufbauen, offenbart eine viel größere Mannigfaltigkeit in der Abstufung des zellularen Seelenlebens. Denn die Ausbildung vieler verschiedener Gewebe und Organe, infolge weitgehender Arbeitsteilung der Zellen, bewirkt hier einerseits in dem gestaltenvollen Reiche der Gewebpflanzen (Metaphyten), anderseits in dem seelenvollen Reiche der Gewebtiere (Metazoen)

*) Weitere Ausführungen finden sich in dem wichtigen größeren Werke von Max Verworn: „Allgemeine Physiologie, ein Grundriß der Lehre vom Leben." 6. Auflage, Jena 1915.

eine unendliche Fülle der interessantesten psychomatischen Differenzierung und Vervollkommnung.

Zellseele der Protophyten (Psychom der einzelligen Urpflanzen). Die formenreiche Gruppe der sogenannten „einzelligen Algen"*) ist in vieler Beziehung von Interesse für unsere Psychomatik, ebenso wie für die generelle Morphologie und Physiologie. In meiner „Systematischen Phylogenie der Protisten" (1894) habe ich sie von den echten, vielzelligen und gewebebildenden Algen abgetrennt, mit denen sie bis dahin vereinigt waren.**) „Die Protophyten sind für den Stoffwechsel des Meeres von der allergrößten Bedeutung; denn sie liefern den weitaus größten Teil der marinen Urnahrung. Die ungeheuren Massen von Nahrung, welche die unzähligen Scharen der schwimmenden Seetiere alltäglich verzehren, stammen zum größten Teil, direkt oder indirekt, aus der planktonischen Flora, und in dieser sind die einzelligen Protophyten von viel größerer Bedeutung als die vielzelligen Metaphyten."***) Ich habe diese merkwürdigen, erst neuerdings mehr gewürdigten, ökologischen Beziehungen, in denen neben der Physiologie auch die Psychomatik der Protophyten eine große Rolle spielt, 1890 in meinen „Planktonstudien"



Fig. 51.
Staurastrum furcatum.
Eine regulär dreistrahlige Kosmarie.

*) Die einzelligen Protophyten (als vegetale Protisten oder „Urpflanzen") sind von den vielzelligen und gewebebildenden Metaphyten („Gewebpflanzen") in morphologischer und psychomatischer Hinsicht ebenso verschieden, wie die einzelligen Protozoen (als animale Protisten oder „Urtiere") von den vielzelligen und gewebebildenden Metazoen („Gewebtieren"). Wenn auch viele Protophyten kleine Zellvereine (Coenobien) bilden, so darf deren Körper doch nicht als Thallus bezeichnet werden. Der echte Thallus der wirklichen „Thallophyten" (vielzellige Algen und Pilze) hat bereits eine höhere Stufe der Pflanzen-Singulation erreicht (entsprechend der Gastraea-Form der tierischen Gastraeaden.

**) Man kann alle die „einzelligen Algen" in dem Stamme der Algarien vereinigen und diese in die beiden Hauptklassen der Paulosporaten (ohne Schwärmsporen) und der Zoosporaten (mit beweglichen Schwärmsporen) einteilen. Zu ersteren gehören die Paulotomeen, Diatomeen und Konjugaten, zu letzteren die Volvocinen, Peridineen und Siphoneen.

***) Planktonstudien. Vergleichende Untersuchungen über die Bedeutung und Zusammensetzung der pelagischen Fauna und Flora, 1890 (Protophyten des Plankton, S. 26—35). Peridineen, Taf. 14, und Diatomeen, Taf. 4, 84, in meinen „Kunstformen der Natur" (Leipzig 1904).

näher erläutert. Besonders die phantastischen und seltsamen Formen der Peridineen und Diatomeen geben hier der vergleichenden Morphologie und Psychomatik noch eine Fülle von interessanten Rätseln auf.

Für unsere Kristallotik sind von den Algarien ganz besonders interessant die kieselschaligen Diatomeen (Fig. 44—50), wegen ihrer merkwürdigen Beziehungen zu den Radiolarien; sie sind deshalb schon oben im dritten Kapitel, im Anschluß an letztere, abgehandelt worden. Von den übrigen Paulosporaten schließen sich ihnen morphologisch am nächsten die Paulotomeen an, zu denen die Palmellaceen, Murracyteen und die Calcocyteen gehören. Diese letzteren „einzelligen Kalkalgen", die in ungeheuren Mengen an dem Planktonleben des tropischen Ozeans sich

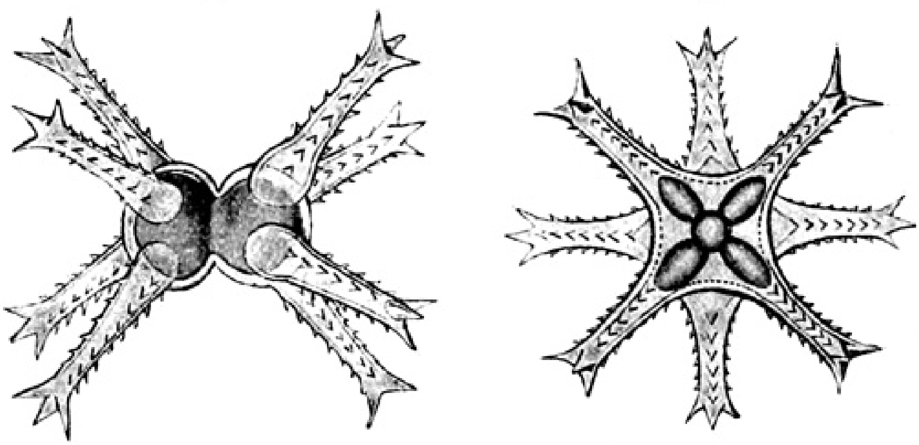


Fig. 52. **Staurastrum paradoxum.**
Zwei kreuzförmige vierstrahlige Kosmarien in Paarung. *a* übereinander gelegt, *b* gekreuzt.

beteiligen, sind kleine einfache Kugelzellen, welche sich mit einer getäfelten schützenden Kalkschale umgeben. Die zierliche Tafelschale besteht aus festzusammengefügten Kalkplatten von charakteristischer Form; bei Kokkosphära gleicht die Platte einem Amylumkorn (Fig. 5, S. 19), bei Cyathosphära einem Manschettenknopf. Bei Rhabdosphära trägt jede Platte einen zylindrischen oder kolbenförmigen Radialstab, und bei Discosphära ist dieser noch am Ende mit einer tangentialen Scheibe versehen. So erscheint die ganze kugelige Zelle der letzten beiden Gattungen als ein regelmäßiger Stern mit vielen Strahlen, ähnlich einer Sphäroidee (Fig. 1, S. 67). Da nun der lebendige Körper der schwimmenden Calcocytee eine ganz einfache Plasmakugel ist, ohne differente Organelle (selbst der zentrale Kern ist noch zweifelhaft),

können diese Skelettbildungen der „einzelligen Kalkalgen“ nur als Biokristalle gedeutet werden.*)

Desmidieae (Cosmariae). Eine andere Familie der Algarien, die sich in der zierlichen und geometrisch regelmäßigen Gestaltung ihres einzelligen Körpers den Diatomeen anschließt, sind die Süßwasser bewohnenden Desmidiaceen (Fig. 51—54). Hier wird die schützende Schale aber nicht durch Kiesel oder Kalk gebildet, sondern durch den gewöhnlichen Pflanzen-Zellstoff, Zellulose. Viele Arten dieser „Zierdinge“ haben die Form einer flachen vieleckigen Scheibe, von deren Rande symmetrische oder radiale Arme abgehen ähnlich wie bei Discoideen-Radiolarien. Die Fortpflanzung

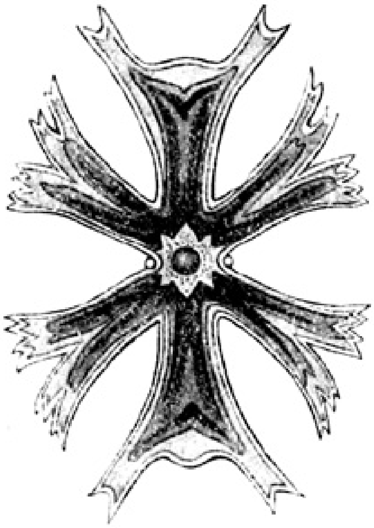


Fig. 53. **Micrasterias melitensis.**
Eine sechsstrahlige Kosmarie, mit sechs zweispaltigen Armen.

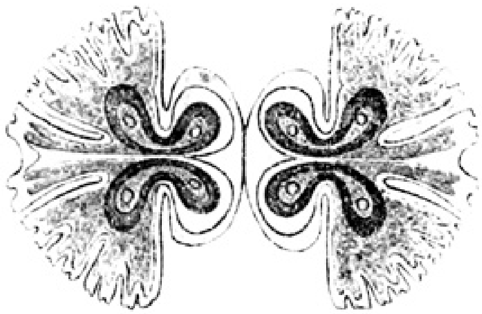


Fig. 54. **Micrasterias denticulata.**
Eine kreisrunde, linsenförmige Kosmarie in Zweiteilung begriffen; jede Hälfte ergänzt sich wieder. Die Kerne beginnen die Hemitomie.

erfolgt hier bald durch einfache Zweiteilung, bald durch Paarung. Bei der Zweiteilung (Hemitomie) spaltet sich jede Zelle in zwei gleiche Hälften, nachdem der Kern sich geteilt hat; jede Hälfte ergänzt sich nachher wieder (Fig. 54). Bei der Paarung (Kopulation) legen sich zwei Zellen kreuzförmig übereinander (Fig. 52). Die beiden kopulierenden Zellen werfen dann ihre harten Schalen

*) Calcocyteen. Auf Taf. 14 meiner „Natürlichen Schöpfungsgeschichte“ (11. Aufl., 1909, S. 448) ist in Fig. 1 die zierliche Rhabdosphaera abgebildet, umgeben von einer Anzahl anderer Algarien von regulär geometrischer Form. Auf der gegenüberstehenden Taf. 15 sind entsprechende kristalline Formen von Radiolarien zusammengestellt, welche genau dieselbe stereometrische Grundform zeigen. Die promorphologische Identität jener vegetalen und dieser animalen Biokristalle ist sehr bemerkenswert.

ab; ihre nackten Zellenleiber verschmelzen zu einer einzigen Zelle (Zygote) und diese bildet sich eine neue, verschieden gestaltete Hülle. Später vermehrt sich dann diese Zygospore durch Teilung.

Hydrodictyeen (Coenobiotische Protophyten aus der Familie der ,,Wassernetzchen" [Fig. 55—57]). Soziale einzellige Urpflanzen aus der Gattung Pediastrum. Diese zierlichen Algarien bevölkern massenhaft unsere süßen Gewässer und bilden an deren Oberfläche eine grüne Schleimschicht (,,Wasserblüte"). Sie unterscheiden sich von den nahe verwandten Cosmarien oder Desmidien (Fig. 51—54) dadurch, daß die grünen, durch wiederholte Zweiteilung sich vermehrenden Zellvereine (Coenobia) vereinigt bleiben. Bei der Gattung Pediastrum bildet das Coenobium eine flache runde Scheibe; alle Zellen liegen in einer Ebene. Jede Zelle enthält einen kugeligen glänzenden Eiweißkristall (Pyrenoid) und daneben mehrere Zellkerne. Psychomatisch sind die Hydrodictynen dadurch interessant, daß die Zellen in den kleineren Arten (Fig. 55) gleichartige Geschwister bleiben, während sie in den größeren Arten (Fig. 56, 57) sich in verschieden geformte Randzellen und Mittelzellen ordnen.

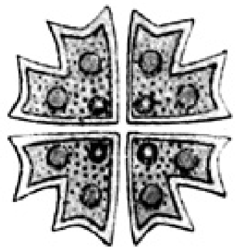


Fig.55. **Pediastrum tetras.** Das Coenobium bildet ein reguläres Kreuz, aus vier gleichen Zellen zusammengesetzt.

Zellseelen der Protozoen (Psychom der einzelligen Urtiere). Die Seelentätigkeit des einzelligen Protisten-Organismus offenbart in den phasmophagen Urtieren (Protozoen) eine viel größere Fülle merkwürdiger Erscheinungen, als in den plasmodomen Urpflanzen (Protophyten); die ersteren sind phyletisch aus den letzteren hervorgegangen, durch Umkehrung des Stoffwechsels (Metasitismus oder Metatrophie).*) Dieser bedeutungsvolle Ernährungswechsel — die ,,historische Verwandlung des synthetischen Phytoplasma in analytisches Zooplasma" — ist polyphyletisch und hat sich wiederholt in verschiedenen Pflanzengruppen, unabhängig voneinander, zu verschiedenen Zeiten vollzogen. In der Klasse der Flagellaten, die von den Botanikern als ,,Urpflanzen", von den Zoologen als ,,Urtiere" in Anspruch genommen werden, ist der Metasitismus sogar noch heute permanent. In verschiedenen Familien der Flagellaten (oder ,,Geiß-

*) Metasitismus = „Ernährungswechsel". Systematische Phylogenie der Protisten (Berlin 1894, § 38, S. 44).

linge"), die sich morphologisch ganz ähnlich verhalten, ernähren sich die einen vegetal (durch Kohlenstoff-Assimilation), die anderen animal (durch Plasmafressen) und eine dritte, neutrale Gruppe steht zwischen beiden in der Mitte und versteht beide Methoden des Stoffwechsels. Diese wichtige Tatsache ist nicht bloß deshalb interessant, weil sie unmittelbar (in physiologischer und systematischer Beziehung) die verbindende Brücke zwischen beiden Protistengruppen herstellt, sondern auch, weil mit diesem Ernährungswechsel tiefgreifende psychomatische Metamorphosen verknüpft sind. Sowohl die verschiedenen Formen der Bewegung (des „Willens"), als der Fühlung (des „Empfindens") erreichen in den jüngeren Protozoen eine viel höhere Stufe als in den älteren Protophyten. Sehr wichtige und interessante experimentelle Untersuchungen über das Seelenleben der Protozoen hat schon vor dreißig Jahren Max Verworn angestellt (l. c.).

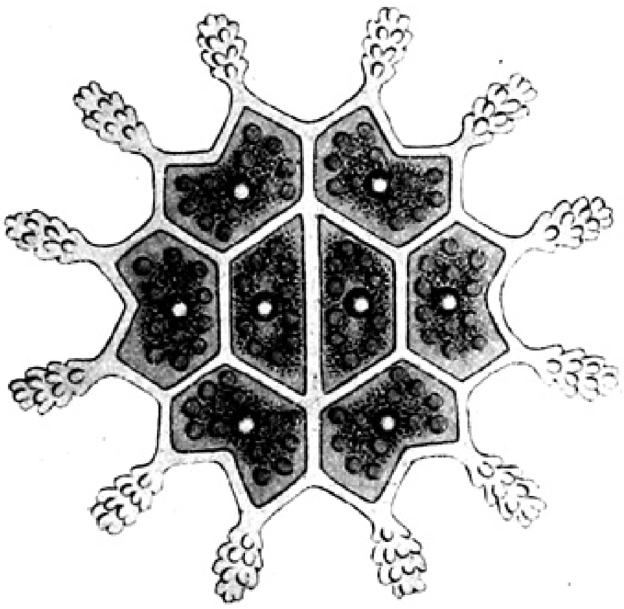


Fig. 56. Pediastrum granulatum.
Die Scheibe besteht aus acht Zellen; die zwei Mittelzellen sind viereckig (trapezoid), ohne Fortsätze; die sechs Randzellen sind zweilappig, jede mit zwei dornigen Radialkolben bewaffnet. Jede Zelle enthält einen kugeligen Eiweißkristall (Pyrenoid).

Die beiden großen Hauptgruppen der Protozoen, die Rhizopoden („Wurzelfüßer") und die Infusorien („Infusionstierchen") hängen zwar — an der uralten Wurzel ihres gemeinsamen Ursprungs — untereinander sowohl als auch mit den Protophyten eng zusammen. Aber beide formenreiche Stämme gehen nach oben hin weit divergierend auseinander; beide entwickeln sowohl in morphologischer als in phyisologischer und psychomatischer Beziehung ganz verschiedene Eigenschaften. Die Rhizopoden sind dadurch ausgezeichnet, daß ihr nackter einzelliger Körper an der Oberfläche viele unbeständige veränderliche Fortsätze aussendet, die festflüssigen „Scheinfüßchen" oder Pseudopodien. Diese dienen als Sinnes- und Greif-Organelle sowohl, zur Fühlung und Bewegung, wie zur Nahrungsaufnahme; es fehlt ein ständiger

Mund. Die Infusorien hingegen besitzen permanente Bewegungs-Organelle in Form von Geißeln oder Wimpern, und meistens auch eine ständige Mundöffnung; viele entwickeln auch differenzierte Sinnesorgane. Sowohl die Innerungen der Zellseele (Fühlung, Reizbarkeit, Empfindung mannigfacher verschiedener Reize) als ihre mechanischen Äußerungen (Energie der verschiedenen Bewegungsarten, Differenzierung von besonderen Erhaltungs-Organellen) — entwickeln sich bei den Infusorien (besonders den Ciliaten) zu einer viel höheren Stufe, als bei den Rhizopoden. Das gilt auch besonders von ihrer geschlechtlichen Fortpflanzung. Hingegen ist das Psychom der Wurzelfüßer viel fruchtbarer in der Erfindung von Protektions-Organellen, von harten Schalen und Skeletten, die den weichen Zellenleib schützend umgeben. Die gröberen und größeren Thalamophoren (mit Kalkschalen, Monothalamien und Polythalamien) entwickeln hier eine ähnliche Mannigfaltigkeit wie die feineren und kleineren Radiolarien, deren Psychom wir bereits im dritten Kapitel besprochen haben.

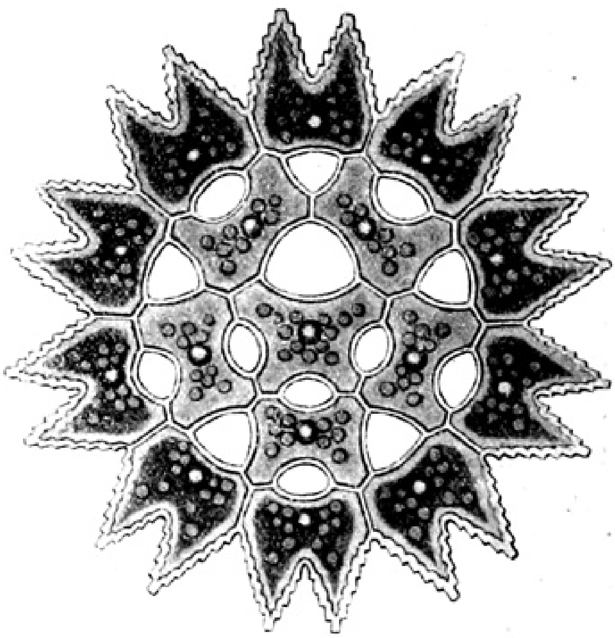


Fig. 57. **Pediastrum pertusum.**
Die Scheibe ist aus 16 Zellen zusammengesetzt; die zehn Randzellen sind zweispaltig; die sechs Mittelzellen haben sich so geordnet, daß eine Zentralzelle von fünf anderen kranzförmig umgeben ist.

Pflanzenseelen (Botanische Psychomatik). Daß die Pflanzen in gewissem Sinne ebenso „beseelt" sind wie die Tiere, daß sie in ähnlichem Sinne wie letztere gegen Reize „empfindlich" sind, ist aufmerksamen und denkenden Beobachtern längst aufgefallen. Jeder Gärtner und Landwirt weiß, daß das Wachstum und Gedeihen der Pflanzen mehr oder weniger von Licht und Wärme, von Feuchtigkeit und Nahrung abhängig ist. Auch sind die Bewegungen, welche besonders die kletternden und rankenden Pflanzen zeigen, ferner die sexuellen Vorgänge bei der Befruchtung, so offenkundig von ihrem Tastgefühl abhängig, daß schon viele ältere Naturforscher den Pflanzen eine „Seele" zuschrieben. Diese natur-

gemäße Auffassung wurde erst um die Mitte des 19. Jahrhunderts verlassen, als die Fortschritte der Pflanzenphysiologie den Mechanismus ihrer Lebenstätigkeit allzu einseitig betonten. Zwar führte die genauere Erforschung der Tierseele und ihrer Organe, des Nervensystems und der Sinneswerkzeuge, zu der sicheren Überzeugung, daß auch diese höchsten „animalen“ Funktionen des Tierorganismus ebenso durch physikalische und chemische Gesetze bedingt sind, wie die niederen „vegetalen“ Lebenstätigkeiten: Ernährung und Fortpflanzung. Da jedoch den höheren Pflanzen ein Nervensystem ebenso wie den niederen fehlt, schloß man daraus, daß sie auch keine Seele besitzen. Trotzdem führte der geistreiche Naturphilosoph Theodor Fechner (Leipzig) schon 1848 in seinem Buche: „Nanna oder das Seelenleben der Pflanzen“ aus, daß dasselbe nicht wesentlich von dem der Tiere verschieden sei. Allein im folgenden halben Jahrhundert waren die Botaniker so überwiegend von dem Ausbau der Zellenlehre, von morphologischen und experimentell physiologischen Arbeiten in Anspruch genommen und wurde die mechanische Natur der Lebensprozesse und ihrer Reaktion auf Reize so einseitig betont, daß über diesen „Äußerungen“ das Interesse an den korrespondierenden, damit verknüpften „Innerungen“ sehr zurücktrat. Erst im Beginn des 20. Jahrhunderts fand die Psychomatik der Gewächse wieder ihre berechtigte Anerkennung. Insbesondere wurde in dem epochemachenden Jahr 1904 durch die Arbeiten von Haberlandt, Nemec, Francé u. a.*) gleichzeitig die Sinnestätigkeit der Gewebpflanzen und der feinere Bau ihrer Sinnesorgane so eingehend erforscht, daß nunmehr ein wirkliches Psychom den Metaphyten ebenso zugeschrieben wird, wie den niederen Metazoen. Auch die Stufenleiter der historischen Entwicklung ist hier wie dort ähnlich (vgl. die fünfte Tabelle, Psychomatische Skala, unten im Anhang).

Instinkte der Pflanzen. Eine unbefangene und kritische Vergleichung des Seelenlebens (sowohl der Fühlungen wie der Bewegungen) — bei den höheren Pflanzen und den niederen Tieren — führt uns zu der sicheren Überzeugung, daß die stufenweise Entwicklung des Psychoms in beiden Reichen der Histonen ganz

*) G. Haberlandt, Die Sinnesorgane der Pflanzen. Leipzig 1904. — B. Nemec, Die Reizleitung und die reizleitenden Strukturen bei den Pflanzen. Jena 1904. — R. Francé, Das Sinnesleben der Pflanzen. Stuttgart 1904. — Ausführliche Mitteilungen über diese moderne „Psychologie der Pflanzen“ und ihre Geschichte enthält der II. Band von R. Francé: „Das Leben der Pflanzen“ (Stuttgart 1907).

ähnliche Bahnen verfolgt. Das gilt sowohl von den niederen Instinkten, als unbewußten, durch Vererbung befestigten Gewohnheiten, als von den höheren Seelentätigkeiten, die bei den Tieren als „Verstand" oder „Intelligenz" bezeichnet werden. Besonders lehrreich sind in dieser Hinsicht die höchst empfindlichen „Sinnpflanzen" (Mimosen), die fleischfressenden Pflanzen (Dionaea, Drosera) und die Parasiten (Cuscuta, Orobanche). Bei diesen Kormophyten (höheren Blumenpflanzen) entwickeln sich besondere Sinnesorgane, welche den niederen (blumenlosen) Thallophyten meistens fehlen. Die sogenannten Tropismen oder „Reizbewegungen" erreichen bei den ersteren eine viel höhere psychomatische Stufe als bei den letzteren.

Tierseelen (Zoologische Psychomatik). Die vergleichende Tierseelenkunde ist in ihren Grundzügen so allgemein bekannt, und in einer umfangreichen Literatur so ausführlich behandelt, daß es für die vorliegende Aufgabe genügt, die wichtigsten Stufen in der phyletischen Entwicklung des animalen Psychoms hervorzuheben. Schon im 7. Kapitel der „Welträtsel" habe ich eine kurze „Übersicht über die Hauptstufen in der Entwicklung des Seelenlebens" gegeben und auf die gewaltigen Unterschiede hingewiesen, welche in der langen Stufenleiter der Seele, von den niederen Tieren aufwärts zu den höheren, und von diesen bis zum Menschen bestehen.*) Die niedersten Gewebtiere (Metazoa), die sogenannten „Pflanzentiere" (Zoophyta) — besonders die Schwämme und Polypen — erheben sich in bezug auf Reizbarkeit und Reflexbewegung nicht über das Seelenleben der meisten Pflanzen; es fehlen ihnen noch Nerven und Sinneswerkzeuge. Erst mit der stufenweisen Entwicklung dieser wahren „Seelenorgane" beginnen sich auch deren höhere Leistungen allmählich zu vervollkommnen. Je mehr die einzelnen Sinnesorgane sich differenzieren, je mehr zugleich das Nervensystem sich zentralisiert, desto vollkommener werden die Vorstellungen und ihre vielfache Verkettung, desto mehr beginnt sich stufenweise auch das Bewußtsein zu entwickeln. Aus den unbewußten „Instinkten" (durch Vererbung übertragenen und befestigten Anpassungen) gehen all-

---

*) „Stufenleiter des Seelenlebens." Die Übersicht über dessen wichtigste Hauptstufen, die ich 1899 am Schlusse des 7. Kapitels der „Welträtsel" gegeben habe, ist jetzt durch die Vergleichung mit den „Kristallseelen" wesentlich erweitert. Vgl. unten im Anhang die fünfte Tabelle: Psychomatische Skala.

mählich jene höheren Vorstellungen oder Dokesen hervor, welche bei den höheren Gewebtieren zur bewunderungswürdigen Ausbildung des Verstandes oder der „Intelligenz“ führen. Hier erreichen besonders die beiden höchst entwickelten Tierstämme, Gliedertiere und Wirbeltiere, die oberste Stufe der Vollkommenheit. Beide Stämme sind, unabhängig voneinander, aus dem niederen Stamme der Wurmtiere (Vermalia) hervorgegangen; in beiden hat sowohl die Ausbildung der höheren Sinnesorgane (Augen, Gehörorgane, Geruchsorgane) als des zentralen Nervensystems ganz verschiedene Wege eingeschlagen. Die Gliedertiere (Articulata) haben unten ein gegliedertes Bauchmark ausgebildet, das durch einen (den Schlund umfassenden) Schlundring mit dem oben gelegenen Gehirn verbunden ist. Die Wirbeltiere (Vertebrata) dagegen haben oben ein dorsales (über dem Darm gelegenes) Rükkenmark entwickelt, dessen vorderster Teil selbst zum Gehirn wird. In beiden Stämmen sind die älteren, in der silurischen und devonischen Zeit lebenden Klassen (Krustaceen unter den Articulaten, Fische unter den Vertebraten) Wasserbewohner von niederer Intelligenz. Erst die jüngeren Klassen, die in der Steinkohlenzeit sich dem Landleben anpaßten (Spinnentiere und Insekten unter den Gliedertieren, Amphibien und Reptilien unter den Wirbeltieren) haben im härteren „Kampf ums Dasein“ den Verstand und die feinere Sinnestätigkeit höher entwickelt. Nur in den höchsten Stufen beider Stämme — bei den höheren Insekten unter den Articulaten, bei den Vögeln und Säugetieren unter den Vertebraten, ist zuletzt (seit der Triasperiode) der Verstand und die Denktätigkeit zu so hoher Vollkommenheit emporgeklommen, daß er mit der Ver-

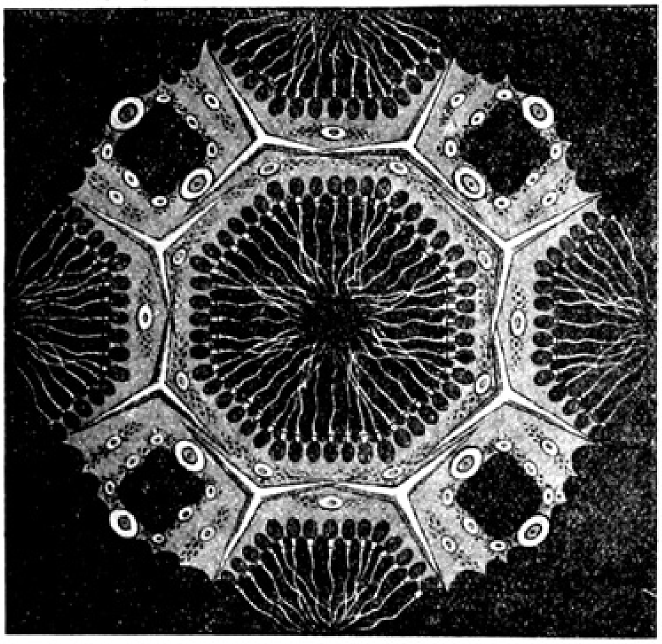


Fig. 58. Sycarium elegans (Kalkschwamm, Sycon).
Querschnitt durch eine achtkantige Geißelkammer; ihre Wand wird durch acht dreistrahlige Kalknadeln gestützt.

nunft des Menschen auf eine Stufe gestellt wird. Die Kultur des zivilisierten „Kulturmenschen“ hat sein Denkorgan (Phronema) zur „Wissenschaft“ und dem „Weltbewußtsein“ emporgeführt, die dem rohen „Naturmenschen“ noch fehlen.

Psychom der Spongien. Die merkwürdige Klasse der Schwammtiere (Spongiae oder Porifera) nimmt im weiten Reiche der Organismen eine ganz eigentümliche Stellung ein. Noch vor hundert Jahren war die Organisation dieser überall verbreiteten Seetiere (von denen nur sehr wenige, die Spongilliden, sich dem Leben im Süßwasser angepaßt haben) fast unbekannt. Unser gewöhnlicher Badeschwamm, mit dem jeder Kulturmensch sich morgens das Gesicht wäscht, ist unzweifelhaft dasjenige Tier, mit dem der Mensch am häufigsten in Berührung kommt; und dennoch wissen die meisten nicht, was dieser poröse, elastische Körper eigentlich ist: das Hornskelett eines Tierstockes, der von Millionen kleiner Metazoen gebildet wird. Die meisten Zoologen hielten aber früher die „Schwämme“ für Pflanzen und stellten sie neben die Pilze; die Botaniker hingegen betrachteten sie als Tiere — weshalb keiner von beiden sie gründlich untersuchte. Erst um die Mitte des 19. Jahrhunderts wurde durch sorgfältige mikroskopische Untersuchungen ihre wahre Natur erkannt. Auf Grund mehrjähriger ausgedehnter vergleichender Forschungen veröffentlichte ich 1872 eine Monographie der Kalkschwämme.*) Darin führte

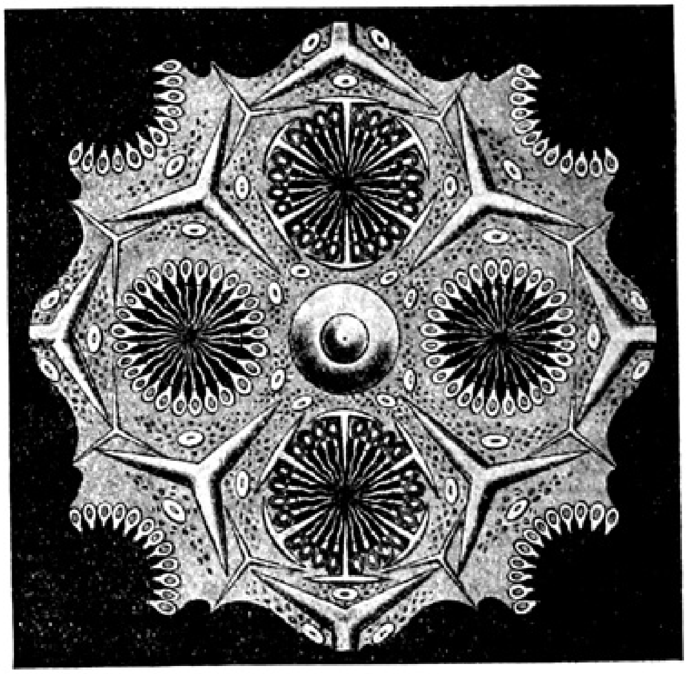


Fig. 59. **Sycaltis perforata** (Kalkschwamm, Sycon). Querschnitt durch vier benachbarte Geißelkammern; ihre Wand wird durch dreistrahlige Kalknadeln gestützt.

*) Die Kalkschwämme (Calcispongiae), Berlin 1872. Der erste Band, die allgemeine Biologie, enthält die Grundzüge der Gastraea-Theorie; der zweite Band: „System der Calcispongien“, ist ein Versuch

ich den Nachweis, daß das eigentliche Individuum der Spongien ein sehr kleines (meist nur wenige Millimeter messendes) länglich rundes Bläschen ist, eine „Geißelkammer“, deren dünne Wand aus zwei Zellenschichten besteht. Diese beiden Epithelschichten sind gleichwertig den beiden primären Keimblättern der Metazoen, den zwei Zellenschichten, aus denen sich der Keim sämtlicher Gewebtiere, bis zum Menschen hinauf, entwickelt. Bei allen Spongien wird die innere Zellenschicht (welche dem Entoderm

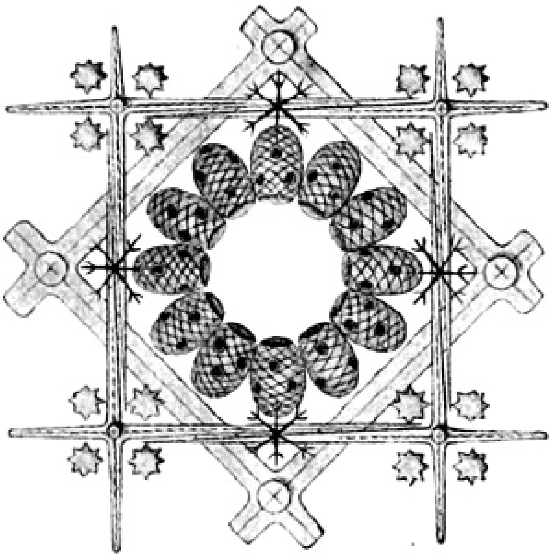


Fig. 60. **Farrea Haeckeli**
(Hexaktineller Kieselschwamm).
Die Kristallare (vierkantige Kieselstäbe) setzen ein regelmäßiges Gitterwerk aus quadratischen Maschen zusammen und tragen in der Mitte ein sechsstrahliges Kristallar. In den vier Ecken des Quadrats liegen Sphaerokristalle. Im Innern ist der kreisrunde Querschnitt eines Kanals sichtbar, mit einem Kranz von zwölf Geißelkammern.

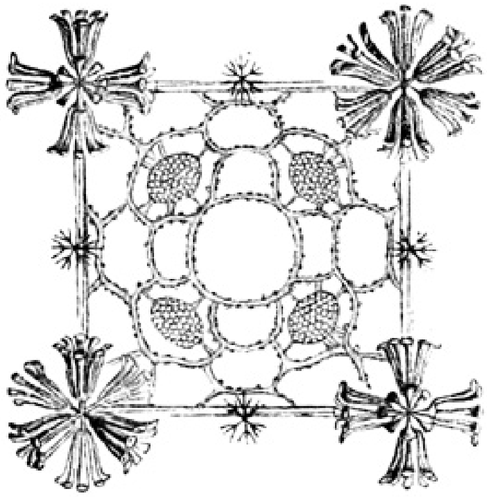


Fig. 61. **Euplectella aspergillum**
(Hexactinella-Kieselschwamm).
Ein Stück der äußeren Haut, die regelmäßig in quadratische Felder geteilt ist; diese werden gestützt durch vier Kieselstäbe, welche in der Mitte einen kleinen sechsstrahligen Kieselstern tragen. Vier größere hexaradiale Sterne liegen in den vier Ecken des Quadrats; jeder trägt am Ende einen glockenförmigen Pinsel von gebogenen Kieselnadeln.

oder inneren Keimblatt entspricht) aus schwingenden, nebeneinanderstehenden Geißelzellen gebildet, die zur Ernährung dienen (Fig. 58, 59). Dagegen verschmelzen die Zellen der äußeren Schicht (die dem Ektoderm oder äußeren Keimblatt entspricht) zu einem Syncytium, einer Bindesubstanz, in welcher sich Biokristalle ablagern. Bei den Kalkschwämmen (Fig. 58, 59) bestehen diese

---

zur analytischen Lösung des Problems von der Entstehung der Arten; der dritte Band, Atlas von 60 Tafeln, enthält zahlreiche Abbildungen von Biokristallen.

hauptsächlich aus regelmäßigen Nadeln von kohlensaurem Kalk, die bald einfach, bald dreistrahlig oder vierstrahlig sind (entweder dem tesseralen oder dem tetragonalen Kristallsystem entsprechend.*) Bei den Kieselschwämmen haben die kristallinen Kieselnadeln verbunden auch dieselbe Grundform (Triaxonia) oder sie sind sechsstrahlig (Hexactinellida, Fig. 60—62) und in mannigfaltigster Weise umgeformt. Nicht allein die einzelnen, den drei Koordinaten-Achsen entsprechenden Biokristalle des tesseralen Systems sind höchst regelmäßig und zierlich gebildet (Fig. 62), sondern auch die Gitterwerke, aus denen sich das ganze Skelettsystem des Schwammstockes aufbaut (Fig. 60, 61). Die ektodermale Wand der Wasserkanäle, die den Schwammstock durchziehen, wird von radial gerichteten, dichtstehenden Geißelkammern in regelmäßigen Kränzen gebildet (Fig. 60). Unser gewöhnlicher Badeschwamm (Euspongia) besitzt kein solches kristallinisches Mineralskelett, sondern statt dessen das elastische Hornfasergerüst, das wegen der Porosität seines Gewebes so vorzügliche Saugkraft besitzt.

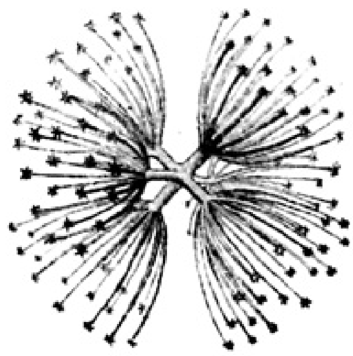


Fig. 62. **Crateromorpha Meyeri.**
Ein sechsstrahliger Biokristall des Skelettes. Jeder Strahl trägt am Ende einen zierlichen Pinsel von Kieselhaaren (Hexaster).

Histopsyche der Spongien. Wie für die Gastraeatheorie und das Biogenetische Grundgesetz, so hat sich das vergleichende Studium der Schwämme auch für unsere „Theorie der Gewebeseele“ (Histopsyche) höchst fruchtbar erwiesen.**) Denn die Organisation der Spongien bleibt auf der tiefsten Stufe unter allen Metazoen stehen; sie besitzen weder Nerven noch Sinnesorgane, noch Muskeln. Es fehlen

---

*) Fig. 58 zeigt den vergrößerten Querschnitt durch eine achteckige Geißelkammer eines Kalkschwammes (Sycon), welche einem individuellen Olynthus entspricht. Die lebhaft sich bewegenden feinen Geißelhaare der Entodermzellen, die den ernährenden Wasserstrom in den zentralen Magenraum einführen, sind radial gegen dessen Mitte gerichtet. Die dickere Außenwand des achteckigen Olynthus, in der die Kerne der verschmolzenen Ektodermzellen sichtbar sind, wird durch regulär dreistrahlige Biokristalle gestützt. Die vier kleinen viereckigen Hohlräume, die an den vier Ecken des Quadrats liegen, sind die Querschnitte von vier Interkanälen, welche vier anstoßende benachbarte Geißelkammern voneinander trennen.

**) Histopsyche. Die Gewebeseele der Spongien, und ihre Duplizität (— ähnlich der gewöhnlichen Pflanzenseele der Metaphyten —) ist erörtert im 9. Kapitel der „Welträtsel“, 1899.

ihnen also noch alle jene wichtigen Organe und Gewebe, welche bei den meisten übrigen Metazoen das eigentliche „Seelenleben" im animalen Sinne vermitteln. Daher sind auch die Lebensäußerungen der Bewegung und Empfindung höchst bescheiden, und es ist begreiflich, daß diese „stumpfsinnigen", am Meeresboden unbeweglich festsitzenden Tiere früher allgemein für „Gewächse", verwandt den Pilzen oder „Schwammpflanzen", gehalten wurden, — um so mehr, als die äußere Gestalt der großen Stöcke, die sich aus Millionen kleiner Geißelkammern zusammensetzen, meistens höchst unregelmäßig und bedeutungslos ist. Trotzdem besitzt nicht nur jede einzelne Geißelkammer (gleichwertig einem Olynthus) ihr individuelles Psychom, sondern auch der ganze Kormus, der durch fortgesetzte Sprossung aus einem Olynthus hervorgegangen ist.*) Auch der ganze Stock stellt ein soziales Individuum dar und hat seine psychomatische wie morphologische Individualität. Aber die niedere Stufe dieser „Histopsyche" macht es um so wahrscheinlicher, daß bei der Biokristallisation seines Skeletts mehr die Molethynen des Kalks und des Kiesels beteiligt sind, als die Ektodermzellen, welche die ganze Konformation des Schwammstockes bedingen.

Seele der Nesseltiere. (Psychom der Cnidarien). Der formenreiche Stamm der Nesseltiere, die früher mit den Spongien unter dem Begriffe der Pflanzentiere (Zoophyta) vereinigt wurden, ist für die vergleichende und genetische Psychomatik von ganz besonderem Interesse. Die Cnidarien (meistens Meerbewohner) treten in zwei sehr verschiedenen Formen auf: als niedere festsitzende Polypen und als höhere freischwimmende Medusen. Beide Formen weichen nicht bloß in der äußeren Erscheinung, sondern auch in der inneren Organisation so sehr voneinander ab, daß sie früher

*) Olynthus, die einfachste und primitivste Form aller Schwämme, die als gemeinsame Stammform des ganzen formenreichen Stammes betrachtet werden muß, entspricht einer einzelnen Geißelkammer, einem länglich-runden eiförmigen oder zylindrischen Bläschen von wenigen Millimetern Länge. Diese Urform von Spongien ist deshalb von hohem Interesse, weil sie im wesentlichen gleich gebaut ist, wie unser gewöhnlicher Süßwasserpolyp (Hydra), der als gemeinsame Stammform aller Nesseltiere gilt, und zugleich als Homolog der Gastrula, der gemeinsamen Keimform aller Gewebtiere (Metazoa). In meiner Gastraea-Theorie, deren Grundzüge zuerst 1872 in der Monographie der Kalkschwämme veröffentlicht wurden (Bd. I, S. 464) habe ich zu zeigen versucht, daß diese Gastrula die erbliche, durch Mneme bedingte Wiederholung der hypothetischen gemeinsamen Stammform aller Metazoen ist: Gastraea.

als ganz verschiedene Tierklassen getrennt wurden. Der festsitzende Polyp hat noch kein zentralisiertes Nervensystem und keine differenzierten Sinnesorgane. Seine primitive Seele erhebt sich noch wenig über die Gewebeseele der Spongien (Histopsyche). Hingegen hat die freischwimmende Meduse, durch Anpassung an die freie Ortsbewegung und Lebensweise, bereits höhere Sinneswerkzeuge, in Form von Augen, Gleichgewichtsorganen (oder „Hörbläschen“) und Geruchsorganen erworben; auch sind diese durch ein Nervenzentrum in Verbindung gesetzt. Nun sind aber beide Klassen durch Generationswechsel noch heute eng verbunden; die Medusen wachsen als Knospen aus den Polypen hervor, und aus den Eiern der Medusen entstehen wieder Polypen. Es läßt sich also hier die historische Entstehung der Nervenseele (Neuropsyche), als einer höheren Form des Psychoms, aus der niederen Gewebeseele (Histopsyche) direkt durch Beobachtung verfolgen; denn dieser ontogenetische Prozeß kann nach dem Biogenetischen Grundgesetze nur als die erbliche, durch Mneme bedingte Wiederholung eines entsprechenden phylogenetischen Vorgangs gedeutet werden. Eingehende Beweise dafür und besonders für die polyphyletische Entstehung der Neuropsyche aus der Histopsyche habe ich in meiner Monographie der Medusen gegeben.*)

Psychomatik der Siphonophoren (Doppeltes Seelenleben der Staatsquallen). Sehr viele Nesseltiere (insbesondere Polypen und Korallen) bilden durch wiederholte Knospung Stöcke oder Kormen, die aus vielen sozial verbundenen Personen oder Einzeltieren zusammengesetzt sind. Durch Arbeitsteilung der letzteren entstehen dann „Tierstaaten“, in deren Psychomatik die Personal-Seele der einzelnen Staatsbürger mehr oder weniger von der Kormal-Seele des ganzen Stockes abhängig wird. Die merkwürdigsten Erscheinungen bieten in dieser Beziehung die wunderbaren schwimmenden Tierstöcke der Siphonophoren oder Staatsquallen. Da ich dieselben bereits in den „Zellseelen“ (1878) und der „Arbeitsteilung“ (1868) gemeinverständlich behandelt und durch zahlreiche Abbildungen erläutert habe, kann ich hier darauf

*) Monographie der Medusen (1865 Geryoniden, mit 6 Tafeln; 1869 die fossilen Medusen der Jurazeit, mit 8 Tafeln; 1879 Craspedoten, mit 20 Tafeln; 1880 Acraspeden, mit 20 Tafeln; 1881 Metagenesis und Hypogenesis von Aurelia aurita, mit 2 Tafeln; 1882 Tiefsee-Medusen, mit 32 Tafeln). Jena, G. Fischer.

kurz verweisen. Sehr eingehende Darstellungen enthält meine Monographie der Siphonophoren (mit 50 Tafeln, 1888).*) Viele schwere Irrtümer der veralteten, obwohl immer noch herrschenden, dualistischen „Schul-Psychologie“ würden vermieden worden sein, wenn deren offizielle akademische Vertreter sich mit den Tatsachen des Seelenlebens der Siphonophoren bekannt gemacht hätten.

Menschenseelen (Anthropologische Psychomatik). Alle Seelenkunde, gleichviel, welcher Richtung sie angehört, muß von der Erkenntnis des menschlichen Seelenlebens ausgehen. Denn nur durch unser eigenes Gefühl und Bewußtsein begreifen wir unmittelbar die Innerung und nur durch unseren eigenen Willen die Äußerung der Psyche. Nun ist seit 43 Jahren eine entscheidende Wendung zwischen den beiden Hauptrichtungen der Psychologie, der monistischen und der dualistischen, zugunsten der ersteren dadurch erreicht worden, daß die Anthropogenie (1874) die Abstammung des Menschen von den Wirbeltieren paläontologisch begründet und die wichtigsten Stufen seiner tierischen Ahnenreihe nachgewiesen hat.**) Unsere gesamte Seelentätigkeit wird durch dieselben physikalischen und chemischen Prozesse vermittelt wie bei den übrigen Vertebraten. Ihre Organe, Gehirn und Rückenmark, periphere Nerven und Sinnesorgane, sind hier und dort dieselben. Wie diese Seelenorgane sich langsam und stufenweise aus den niederen Zuständen der Vertebraten-Ahnen entwickelt haben, so gilt dasselbe natürlich auch von ihren Funktionen. Obgleich nun diese Stammesgeschichte der Menschenseele unzweifelhaft feststeht, stößt sie dennoch bis heute auf den hartnäckigsten Widerstand der herrschenden scholastischen Psychologie, welche in dem höheren Geist des Menschen eine besondere, den Tieren abgehende Eigenschaft erkennen will und daraufhin ihm die „persönliche Unsterblichkeit“ seiner Seele zuschreibt. Da ich bereits im 11. Kapitel der „Welträtsel“ die Unhaltbarkeit dieses Mythus eingehend dargelegt habe, beschränke

---

*) Monographie der Siphonophoren. „Report on the Siphonophorae collected by H. M. S. Challenger“. London, Longmans. Mit 50 Tafeln. 4°. 1888. — Über Arbeitsteilung in Natur und Menschenleben (Vortrag in Berlin 1868). 2. Aufl. 1910, Leipzig. (I. Band der Gesammelten Reden und Abhandlungen. Bonn, Strauß, 1902).

**) Unsere Ahnenreihe (Progonotaxis hominis). Kritische Studien über phyletische Anthropologie. Festschrift zur 350jährigen Jubelfeier der Thüringer Universität Jena. Mit 6 Tafeln, Jena 1900.

ich mich hier auf den wiederholten Hinweis darauf, daß nur die vergleichende und genetische Psychologie hier volle Sicherheit geben kann.*) Die unbefangene Vergleichung des Seelenlebens bei den höheren und niederen Menschenrassen lehrt uns, daß der höhere Geist nur ein Produkt vieltausendjähriger Kultur ist, da er den niederen Naturvölkern noch ebenso fehlt wie den Affen und den übrigen Säugetieren. Einer der schwersten Fehler der herrschenden dualistischen Schulpsychologie besteht darin, daß sie die höchstentwickelte Geistestätigkeit des gebildeten Kulturmenschen, von der die rohen Naturmenschen kaum eine dunkle Spur zeigen, ohne weiteres als allgemeinen Vorzug der Menschenseele vor der Tierseele betrachtet. Die komparante Entwicklungsgeschichte beweist klar, daß die historische Entwicklung des Psychoms aus niederen Zuständen überall auf demselben Wege erfolgt. Die Elementar-Organe sind bei allen die „Seelenzellen" des Nervensystems, die Neuronen im Gehirn und besonders in der grauen Rinde des Großhirns.

Psychom der Stammzelle (Cytulaseele). Die vergleichende Anthropogenie lehrt uns im ersten Teile, der Keimesgeschichte, daß jeder einzelne Mensch seinen Ursprung aus einer einfachen kugeligen Stammzelle nimmt, und im zweiten Teile, daß diese Cytula, dem Biogenetischen Grundgesetze zufolge, die erbliche Wiederholung einer entsprechenden protozoischen Ahnenzelle ist. Gleich allen anderen, aus einzelligen Geweben aufgebauten Tieren (Metazoen) entwickelt sich auch der Mensch aus der Cytula — oder der „befruchteten Eizelle" — auf dem Wege der Gastrulation.**) Durch wiederholte Teilung der Stammzelle entstehen die Keimblätter, die sich zu den verschiedenen Geweben und Organen differenzieren. Für unsere Psychomatik ist nun von hervorragender Bedeutung die Natur und die Entstehung der kugeligen Stammzelle. Durch die erschöpfenden Forschungen der letzten vierzig Jahre über Be-

*) Phylogenie der Menschenseele. Im 8. Kapitel meiner „Systematischen Phylogenie der Wirbeltiere" (Berlin 1895, S. 625) habe ich kurz die empirischen Argumente aus den Gebieten der Anatomie und Ontogenie, Physiologie und Pathologie zusammengestellt, welche die historische Entwicklung der Menschenseele aus der Affenseele für jeden unbefangenen und ehrlichen Denker unwiderleglich beweisen. Damit fällt definitiv das alte Märchen von der persönlichen Unsterblichkeit unserer Seele.

**) Anthropogenie oder Entwicklungsgeschichte des Menschen (mit 30 Tafeln und 500 Textfiguren). I. Teil: Keimesgeschichte (Ontogenie), II. Teil: Stammesgeschichte (Phylogenie). Leipzig, Engelmann, 1874. — 6. Auflage 1910.

fruchtung und Vererbung ist uns dieser fundamentale Vorgang in allen Einzelheiten genau bekannt. Im Moment der Befruchtung oder „Empfängnis“ treffen bei der geschlechtlichen Zeugung zwei verschiedene Zellen zusammen und verschmelzen miteinander, die weibliche Eizelle der Mutter und die männliche Spermazelle des Vaters. Die Kerne der beiden Elternzellen, die materiellen Träger der erblichen Eigenschaften, verschmelzen miteinander. So entsteht eine neue kugelige Zelle, welche die wesentlichsten Charakterzüge beider Eltern (und zum Teil auch der vier Großeltern) gemischt enthält.

Amphimixis. Die Mischung der Substanz beider „Elternzellen“ in der neu entstandenen „Stammzelle“ betrifft alle drei Attribute der Substanz, ihre Materie (Plasma), ihre Energie (Leben) und ihr Psychom (Seele). Ebenso wie die Seele der Mutter in der Eizelle lebt die Seele des Vaters in der Spermazelle teilweise fort. Die Mischung beider bedingt den ganzen Charakter des Kindes, das sich aus der Cytula entwickelt. Diese ontogenetische Tatsache ist von höchster Wichtigkeit. Denn sie beweist, daß jeder Mensch, wie jedes andere vielzellige Tier und wie jede Pflanze, einen zeitlichen Anfang seiner persönlichen Existenz hat. Dieser Zeitpunkt ist durch das Moment der Empfängnis genau bestimmt. Da nun die normale Entwicklung des menschlichen Embryo im Mutterleibe bis zur Geburt gewöhnlich neun Monate dauert (etwa 270 Tage), so ist jeder Mensch, streng genommen, neun Monate älter, als sein offizieller Geburtsschein angibt. Daraus ergibt sich ohne weiteres, daß dieses individuelle Wesen (ein vergängliches Plasma-Singulat!) unmöglich Anspruch auf „Unsterblichkeit“ machen kann. Da nun ferner die Cytula (die bald „befruchtete Eizelle“, bald „erste Furchungskugel“ genannt wird) nicht nur in materieller, sondern auch in energetischer und psychomatischer Hinsicht das erbliche, historisch transformierte Erinnerungsbild einer einzelligen Ahnenform darstellt, so ist im Sinne der Mneme wohl zu beachten, daß ihr Idioplasma (entweder bloß das Karyoplasma des Zellkerns oder auch zugleich das Zytoplasma des Zellenleibes) in chemischer Beziehung eine höchst kompliziert gebaute Substanz ist. In den Molekülen dieses strukturlosen Keimplasma haben Milliarden von Vererbungs-Prozessen im Laufe von mehr als hundert Millionen Jahren der Stammesgeschichte ihren bleibenden Niederschlag hinterlassen.

Statotaxis (Gleichgewichtsfühlung). Die ganze Weltordnung, der gewaltige Wunderbau des Kosmos, erhält sich dadurch beständig, daß trotz der ewigen und unaufhörlichen Bewegung aller Teile dennoch überall ein Streben nach Gleichgewicht herrscht. Die Anziehung (Attraktion) und Abstoßung (Repulsion) der Teile sind die geheimnisvollen Urzustände der „Weltseele", welche beständig gegeneinander wirken und durch deren Ausgleich das erstrebte Gleichgewicht erreicht wird. Die moderne „kinetische Theorie der Materie" lehrt, daß überall und jederzeit im Weltall Bewegung herrscht: „Universum perpetuum mobile". Unsere „psychomatische Theorie der Substanz" ergänzt dieses kosmische Universalprinzip, indem sie mit der Kinese die Ästhese untrennbar verknüpft: „Universum ubique sensibile". Das ganze „Leben" des Kosmos, in dem die beiden Urzustände der „Weltkraft", die „lebendige Kraft" (aktuelle Energie) und die „ruhende Kraft" (potentielle Energie) beständig miteinander abwechseln, wird nur dadurch verständlich, daß der positive Tropismus mit Lustgefühl, der negative Tropismus mit Unlustgefühl verknüpft ist. Wir haben in der Psychomatik der Radiolarien gesehen, wie das Gleichgewichtsgefühl des ruhig schwebenden Körpers und das damit verknüpfte Lustgefühl der Plastidule das flüssige Plasma der empfindlichen Zelle zur Produktion höchst mannigfaltiger und komplizierter Biokristallformen treibt. Aber ganz dieselbe Statotaxis können wir auch für die Arbeit der Molethynen bei den Sterrokristallen als Ursache annehmen. Denn die bestimmte dreidimensionale Ordnung der Moleküle in den Symmetrieklassen der festen Kristalle (Tabelle I im Anhang) kann auf dieselbe Statotaxis, wie die gleiche geometrische Konstruktion des kristallinen Skeletts der Radiolarien zurückgeführt werden — besonders der Akantharien (Fig. 27—38). Schon vor dreißig Jahren habe ich auf das merkwürdige „plastische Distanzgefühl" dieser einzelligen Rhizopoden und die kristalline Regelmäßigkeit ihrer Diktyose hingewiesen (s. o. S. 90). Dieses ausgeprägte Symmetriegefühl hängt offenbar mit ihrer Statotaxis zusammen und diese ist wieder einerseits durch die physikalischen Gesetze des Gleichgewichts bedingt, anderseits durch die psychomatischen Gesetze ihrer Attraktion und Repulsion.

Symmetrismus (Symmetrie-Fühlung). Die wichtige Rolle, welche das Symmetriegefühl der lebendigen Substanz beim Aufbau der verwickelten organischen Formen spielt, habe ich in meiner

9*

„Grundformenlehre“ (1866) eingehend erläutert.*) In den „Kunstformen der Natur“ sind sie auf hundert Foliotafeln durch zahlreiche Abbildungen illustriert.**) In dem elften (Supplement) Hefte dieses Werkes (1904) sind auch die ästhetischen und künstlerischen Probleme dieser wenig kultivierten Promorphologie besprochen. Im achten Kapitel der „Lebenswunder“ (1904) habe ich die allgemeinen Symmetriegesetze besonders mit Beziehung auf die Promorphologie der Kristalle und Bionten erörtert, und in einer Übersicht der geometrischen Grundformen (S. 215) sechs Klassen und neun Ordnungen derselben unterschieden. Diese Tabelle ist hier im Anhang wiederholt (S. 146). Indem ich mich auf diese ausführlichen, bisher wenig beachteten Untersuchungen beziehe, sehe ich hier von einer weiteren Erörterung ab. Ich betone nur noch besonders, daß die monistische Mechanik, welche durch bestimmt gerichtete Bewegungen der symmetrisch sich ordnenden Körperteile deren regelmäßige Gestaltung bedingt, nur verständlich wird, wenn dabei auf Grund unserer monistischen Psychomatik die damit verknüpften Fühlungen gebührend berücksichtigt werden. Das gilt ebenso für die Kristalle, wie für die Organismen.

Diffusions-Kristallare. Von besonderem Interesse für unsere psychomatische Beurteilung des Kristall-Lebens und die damit verknüpfte Statotaxis, insbesondere aber für die Symmetrie-Fühlung der Moleküle und die Leptonik, ist die Bildung von regelmäßigen Kristallaren in diffundierenden Flüssigkeiten. Wenn man zwei verschiedene, miteinander mischbare Flüssigkeiten (eine leichtere, z. B. Alkohol, und eine schwerere, z. B. Wasser) so übereinander schichtet, daß die leichtere auf der schwereren schwimmt, so diffundieren sie nach einiger Zeit vollständig; d. h. ihre beiderlei verschiedenen Moleküle verteilen sich vollkommen gleichmäßig, unabhängig von

---

*) Generelle Promorphologie oder Allgemeine Grundformenlehre (Stereometrie der Organismen). Viertes Buch der Generellen Morphologie, Band I, S. 375—574. Berlin 1866. (In dem partiellen Abdruck, welcher 40 Jahre später unter dem Titel „Prinzipien der Generellen Morphologie“ erschien, ist nur ein kleiner Teil dieses Vierten Buches wiedergegeben.)

**) Kunstformen der Natur. 10 Hefte mit 100 Tafeln Folio. Leipzig, Bibliograph. Institut, 1899—1904. Die zahlreichen Figuren dieses Tafelwerkes, besonders die schönen, weiteren Kreisen wenig bekannten Formen der mikroskopischen Protisten, sowie der niederen Pflanzen und Tiere, eignen sich gut zur anschaulichen Erläuterung vieler Fragen der „Kristallseelen“. In dem elften (Supplement) Hefte (1904) habe ich deren theoretische und ästhetische Bedeutung besprochen und durch synoptische Tabellen erläutert.

der Schwerkraft, wie von der chemischen Verwandtschaft, und ohne daß eine äußere Kraft (z. B. Umrühren) auf ihre Bewegungen einwirkt. Diese Diffusion erklärt sich durch die psychomatische Annahme, daß die Moleküle sowohl Fühlung (Ästhese) als Richtkraft (Moletropismus) besitzen — oder mit anderen Worten: „Elementare Empfindung und elementaren Willen". Wenn die Diffusion in vollkommener Ruhe der Mischung langsam sich vollzieht, so entstehen „Diffusions-Kristallare", die ebenso vollkommen regelmäßig gebildet sind, wie die geometrischen Formen

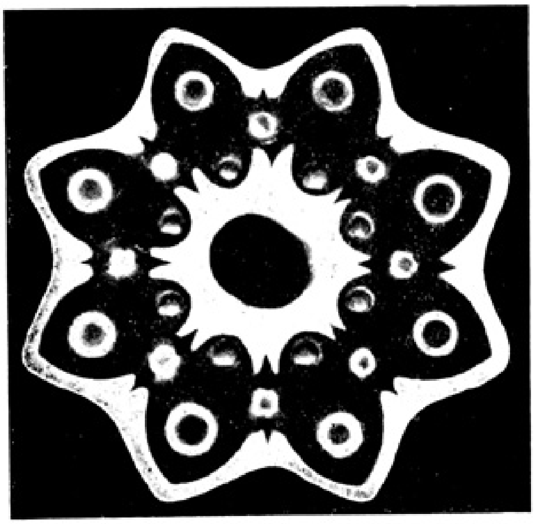


Fig. 63. **Diffusions-Kristallar von Silbernitrat** (Höllenstein) **und Brom-Ammonium.**
(Photogramm. Nach Leduc, 1910, S. 77.)
Achtstrahliger Stern, gleich einer Oktokoralle.

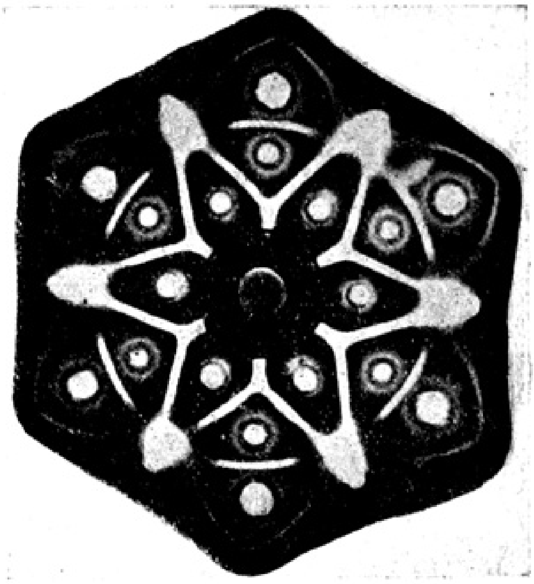


Fig. 64. **Diffusions-Kristallar von Silbernitrat** (Höllenstein) **und Natrium-Karbonat** (Soda).
(Photogramm. Nach Leduc, 1910, S. 78.)
Sechsstrahliger Stern, gleich einer Hexakoralle.

der Sterrokristalle (Fig. 11). Stephan Leduc*) (Nantes) hat durch zahlreiche interessante Versuche gezeigt, daß die Produkte dieser Mischung, bei welcher Kohäsion und Adhäsion, Diffusion und Kristallisation zusammenwirken, an vollkommener Regelmäßigkeit der Struktur und der geometrischen Grundform den höchst zusammengesetzten Produkten des organischen Lebens nichts nachgeben, welche wir an den Radialfiguren der Diatomeen und Radiolarien, den Korallen und den Blumen bewundern. Größere und kleinere

*) Stephan Leduc (Nantes), „Theorie physico-chimique de la Vie et Generations spontanées", Paris 1910.

Molekülgruppen ordnen sich in bestimmten Abständen und Richtungen so gesetzmäßig, daß wir Strahlen erster, zweiter und dritter Ordnung (Perradien, Interradien und Adradien) vollkommen scharf unterscheiden und mathematisch bestimmen können.

Fig. 63, 64, 65 zeigen nach Photogrammen drei verschiedene Kristallare von Höllenstein (Silbernitrat), welche durch Eintropfen einer Lösung in Gelatine entstanden, in der ein Salz gelöst war; die Tropfen sind gleichmäßig verteilt. Fig. 63, ein regulär achtstrahliger Stern, durch Diffusion des Silbernitrats mit Brom-Ammonium entstanden, zeigt den Bau einer regulär-oktoradialen Blume (z. B. Erica), in welcher acht perradiale Blumenblätter alternieren mit acht interradialen Kelchblättern und Staubblättern. Ebenso gleicht der sechsstrahlige Stern von Fig. 64 und 65 einer hexaradialen Hexakoralle, in derem Gastralraum sechs perradiale Magentaschen alternieren mit sechs interradialen Septen; Fig. 64 ist durch Diffusion von sechs Tropfen Höllensteinlösung mit Sodalösung (Natriumkarbonat) entstanden; Fig. 65 durch Diffusion von sechs Tropfen salpetersaurem Silber mit einer Lösung von zitronsaurem Kali. Fig. 66 zeigt die Wirkung der Diffusion von gelbem Blutlaugensalz (Ferrocyankalium) und Gelatine. Die hexagonalen Kristallare haben sich so regelmäßig aneinander gelegt, daß eine täuschende Ähnlichkeit mit organischem Zellgewebe entsteht. Natürlich sind diese Produkte des Moletropismus aber keine „künstlichen Zellen“.

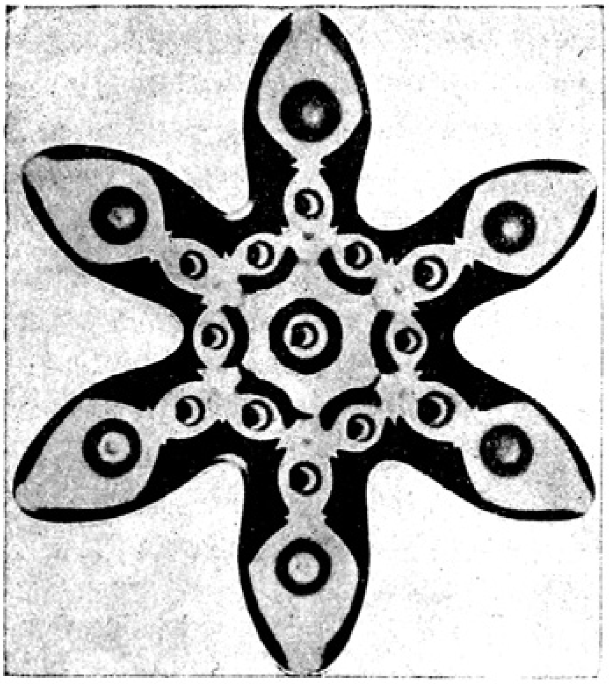


Fig. 65. Diffusions-Kristallar von Silbernitrat und Kaliumzitrat.
(Nach Leduc, 1910, S. 79.)
Sechsstrahliger Stern, gleich einer Lilienblüte.

Zahlen-Symmetrismus. Die Übersicht über die sechs Kristallsysteme, die auf der ersten synoptischen Tabelle, und das allgemeine System der geometrischen Grundformen, das auf der zweiten

Tabelle im Anhang gegeben ist, zeigt uns, daß in der realen Verkörperung der stereometrischen Grundform verhältnismäßig wenige Zahlen den symmetrischen oder regulären Bau bestimmen. Von den Primzahlen sind nur 2, 3 und 5 allgemein verbreitet; dagegen kommen 7, 11, 13, 17, 19 usw. in der Formenwelt der Kristalle niemals, in organischen Formen (z. B. Radiolarien, Nesseltieren, Blumen) nur sehr selten oder zufällig vor. Von den zusammengesetzten Zahlen, die ein Vielfaches einer Primzahl darstellen, sind bei weitem am häufigsten 4, 6 und 8, sowie ein Vielfaches von diesen drei Grundzahlen; seltener 10, 12 usw. Dasselbe Verhältnis, was hier in den Naturformen herrscht, finden wir wieder in den symmetrischen Kunstformen, welche der Mensch zur Dekoration, in der Architektur, Skulptur usw. verwendet. So sind z. B. die Rosetten und Blumen, welche in der Mitte der Zimmerdecken allgemein als Schmuck verwendet werden, überwiegend vierstrahlig oder sechsstrahlig gemalt; selten finden sich die Primzahlen 2, 3 und 5. Dagegen kommen die höheren Primzahlen 7, 11, 13 usw. fast niemals vor. Offenbar ist es das künstlerische Symmetriegefühl oder der „Geschmack“ des kunstsinnigen Menschen, das durch die einfachen Gleichgewichts-Verhältnisse am meisten befriedigt wird. Daß die Zahlen 4 und 8 (die auch in der natürlichen Medusenform vorherrschen) am meisten bevorzugt werden, liegt auch wohl daran, daß bei der symmetrischen Teilung eines Kreises in Quadranten und Oktanten die einfachste Kreuzform am nächsten liegt; auch bei den Protisten, welche durch wiederholte Zweiteilung sich vermehren, ist diese vierstrahlige Grundform sehr verbreitet (vgl. oben Fig. 51—57, S. 114—119). (Die sphärischen Rheokristalle zeigen dasselbe Kreuz im polarisierten

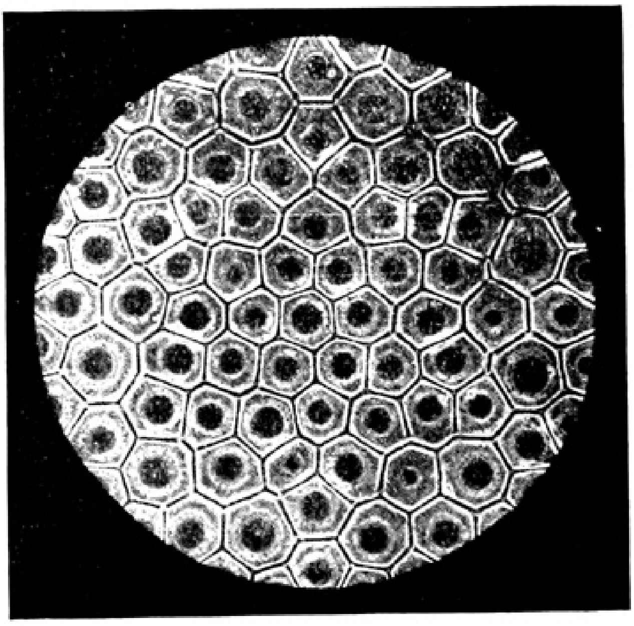


Fig. 66. **Diffusions-Kristallar von Ferrozyankalium** (gelbem Blutlaugensalz) **und Gelatine.**
(Nach Leduc, 1910, S. 80.)
„Künstliche Zellbildung.“

Licht zwischen gekreuzten Nicols, Titelbild, Fig. 11). Bei den Sterrokristallen ist die Vierzahl durch die quadratische Gürtelebene im tesseralen und tetragonalen System bestimmt, die Sechszahl im hexagonalen System. Da die Ursachen für die Zahlen-Symmetrie in der Kristallisation bisher völlig unbekannt waren, darf man vielleicht daran denken, daß auch hier das Lustgefühl des Gleichgewichts die Moleküle bestimmt, gerade diese Form zu wählen. Bei polymorphen Kristallen, welche bei gleicher stöchiometrischer Zusammensetzung in zwei oder mehreren verschiedenen Kristallsystemen kristallisieren, ist dann ein Fühlungswechsel für das Gleichgewicht anzunehmen; so z. B. beim Kohlenstoff, wenn er als Graphit im hexagonalen, als Diamant im tesseralen System seine Molethynen wirken läßt; beim Kalziumkarbonat, wenn es als Kalkspath im hexagonalen, als Arragonit im rhombischen System kristallisiert.*)

Ursachen der Symmetrie. Die wahren bewirkenden Ursachen der symmetrischen Gestaltung (Causae efficientes) können zwar im allgemeinen auf die Statotaxis zurückgeführt werden und auf das positive „Lustgefühl", welches mit der Herstellung des Gleichgewichts verknüpft ist; aber im einzelnen sind dieselben sehr verschieden und oft auf kombinierte physikalische Bedingungen zurückzuführen. Für die Kugel, als die einfachste von allen Grundformen, wurde schon oben erwähnt, daß sie als Produkt der Oberflächenspannung oder „Facial-Tension" die weiteste Verbreitung besitzt. Sowohl die Sphärokristalle wie die in stabilem Gleichgewicht schwebenden Tropfen und Zellen nehmen die Kugelform an. Die einachsige oder Monaxonform (sphäroidale und konoidale) Grundform wird meistens durch die Schwerkraft bestimmt (Geotropismus). Die kreuzachsige oder Stauraxonform frei schwimmender Tiere (z. B. der Medusen) erscheint hier als die beste und nützlichste, weil die gleichmäßige Verteilung der Organe auf bestimmte Radien oder Strahlachsen (bei den Medusen meistens 4, 6 oder 8) das freie Schwimmen der zarten Tiere nach allen Richtungen begünstigt. Anderseits ist die Triaxonform der Amphipleuren und Zygopleuren dadurch bestimmt, daß die

*) Die „Beziehungen zwischen den physikalischen Eigenschaften des Kristalls und seiner chemischen Zusammensetzung" (Morphotropie, Polymorphismus usw.), welche Gottlob Linck im vierten Kapitel seines „Grundrisses der Kristallographie" (Jena 1913) vortrefflich erörtert hat, können vielleicht durch psychomatische Betrachtungen noch eine weitere Erklärung erhalten.

freie Ortsbewegung in einer bestimmten Richtung durch die Ausbildung einer vertikalen Medianebene besonders gefördert wird. Die drei aufeinander senkrechten Richtachsen (Euthynen), von denen zwei ungleichpolig sind, die dritte gleichpolig, bedingen bei diesen Bilateralformen (oder „Dorsiventralformen") den Unterschied von Rechts und Links, von Rücken und Bauch. Wie die meisten höheren, frei beweglichen Tiere (namentlich Gliedertiere und Wirbeltiere), so sind auch unsere künstlichen Fahrzeuge (Wagen und Schiffe) nach diesem praktischen Bilateral-Prinzip gebaut; die Selektion hat hier unter allen möglichen Fällen den am meisten nützlichen ausgelesen. Wichtig ist dabei die gleichmäßige Verteilung der Last auf die beiden Antimeren oder Körperhälften.

In vielen anderen Fällen können wir die wahren mechanischen Ursachen des Symmetrismus nicht erkennen, wie z. B. bei den mannigfachen Variationen der Schneekristalle (Taf. B, S. 13). Überhaupt sind uns die Fühlungen der Kristallmoleküle, welche deren Einordnung in eines der sechs Symmetriesysteme (Tabelle I, S. 145) bedingen, und besonders die Polymorphismen der Elemente, die in mehreren verschiedenen Systemen kristallisieren (z. B. Kalkspat und Arragonit) noch ganz unbekannt. Dasselbe gilt von den symmetrischen Formen vieler Kristalliten (z. B. Margariten, Beloniten), und von den sonderbaren Kristallaren, jenen oben erwähnten kristalloiden Gebilden, die durch Osmose bei Mischung zweier Flüssigkeiten gebildet werden (Fig. 63—66, S. 133—135). Durch die Gegenwirkung von zwei verschiedenen Strömungen (Exosmose und Endosmose) entstehen hier „Diffusions-Kristallare", die an vollkommen regelmäßigem Bau mit radialen Medusen und aktinomorphen Blumen wetteifern. Ähnliche reguläre Strahlformen hat Stephan Leduc (Nantes) auch künstlich erzeugt, indem er einige Tropfen chinesische Tusche (Karbonmoleküle) in einem Tropfen Salzwasser diffundieren ließ (Fig. 67—70).*)

Sphärologie (Kugellehre). Unter diesem Begriff werden in physikalischen Schriften die Gesetze erörtert, unter denen unsere Erde, gleich den meisten übrigen Weltkörpern, die Gestalt einer Kugel oder eines rotierenden kugelähnlichen Sphäroids angenommen hat. Indessen ist dieser Teil der sphärischen Geometrie

---

*) Stephan Leduc (Nantes): „La Biologie synthetique". Paris 1912. Vgl. auch Gustav le Bon, Die Entwicklung der Materie (deutsch von Max Iklé). Leipzig 1909.

einer viel weiteren Ausdehnung und Anwendung fähig, insofern die Kugel — als die einzige absolut reguläre Körperform — in der Gestaltung der Masse unter den verschiedensten Verhältnissen eine wichtige Rolle spielt. Überall, wo die flüssige Materie unter



Fig. 67.

Fig. 67, 68, 69. **Radiale Fühlung der Karbon-Moleküle** (Radialer Moletropismus). Sieben Tropfen chinesischer Tusche, diffundiert in einem Tropfen Salzwasser. Die Ruß-Moleküle ordnen sich in einen regulär hexagonalen Stern um ein Zentrum; Fig. 67 nach 2 Minuten, Fig. 68 nach 15 Minuten, Fig. 69 nach 30 Minuten. (Nach Leduc, 1910, S. 97, 98, 99.)

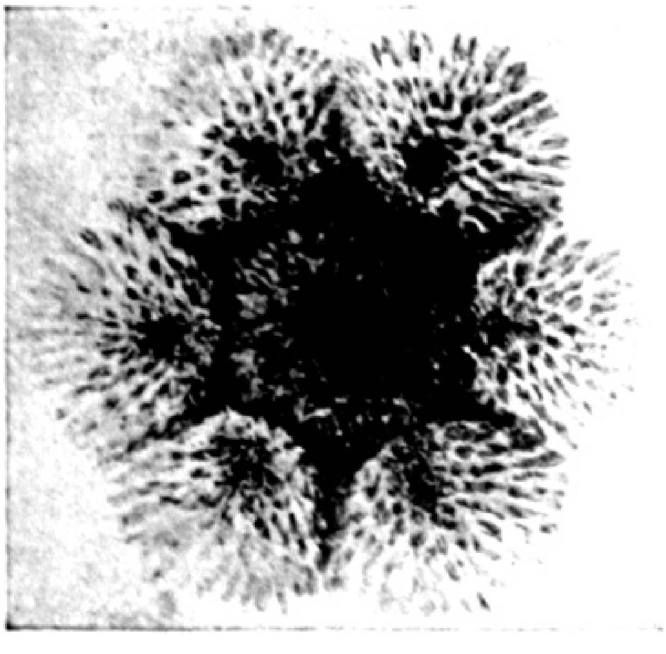


Fig. 68.

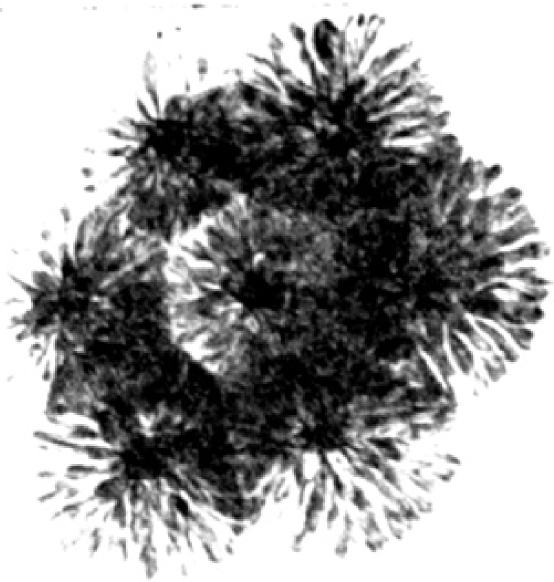


Fig. 69.

den Bedingungen vollkommenen Gleichgewichts, und unter Ausschluß äußerer formgestaltender Kräfte wie innerer Richtkräfte (Moletropen), in den festen Zustand übergeht, nimmt sie die Kugelform an. Denn die Oberflächenspannung (oder Fa-

zial-Tension) ist an der Kugel geringer als an jeder anderen Form. Nur bei der Sphäre ist der Kohäsionsdruck aller Teile der Oberfläche gleich groß. Wenn man einen Öltropfen in eine Mischung von Wasser und Alkohol bringt, die gleiches spezifisches Gewicht hat, und ihn so dem Einfluß der Schwerkraft entzieht, nimmt er Kugelform an. Zwei oder mehrere getrennte Tropfen fließen bei der Berührung zusammen und bilden eine einzige größere Kugel, deren Oberfläche natürlich kleiner ist. Welche wichtige Rolle die Kugelform im Reiche der Protisten spielt, sowohl bei den frei schwebenden Einzelligen, als bei den sphärischen Coenobien (Halosphaera, Volvox usw.), haben wir schon im dritten Kapitel gesehen. Aber auch die Eizelle des Menschen, wie vieler anderer Tiere, ist eine reguläre Kugel.

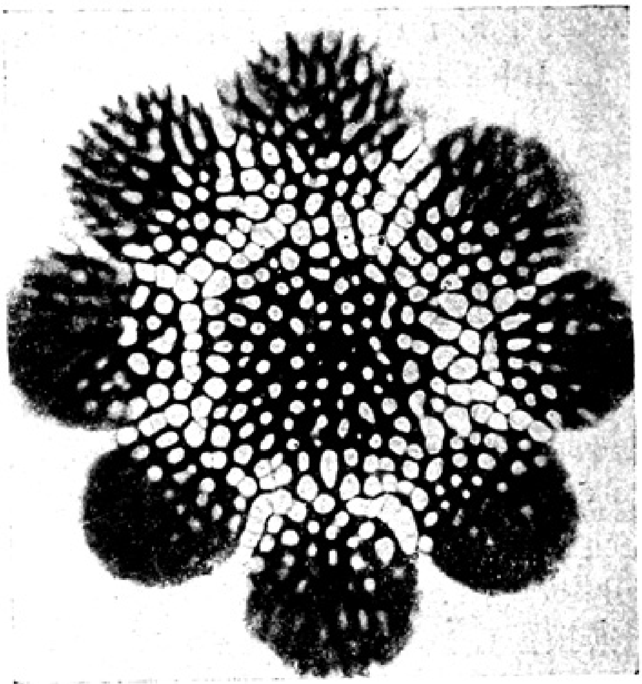


Fig. 70. **Radiale Fühlung von Karbon-Molekülen** (Moletropismus).
Acht Tropfen chinesischer Tusche, diffundiert in einem Tropfen Salzwasser; nach 30 Minuten so geordnet, daß ein regulärer oktagonaler Stern entsteht, mit symmetrischer Dictyose. (Nach Leduc, 1910, Fig. 100.)

Singulation der Substanz (= Individualisation der Naturkörper). Alle einzelnen geformten Körper, die einen bestimmten Raum einnehmen, entstehen als Einzelkörper (Individuen oder Singula) durch einen physikalischen Prozeß, den wir kurz als Singulation bezeichnen wollen, um den schleppenden neunsilbigen Ausdruck der „Individualisation" oder „Individualisierung" zu vermeiden. Dieser Gestaltungsvorgang besteht darin, daß eine formlose Masse von flüssiger, festflüssiger oder fester Substanz in individuelle, räumlich umgrenzte Teile zerfällt, die sich fest umschreiben, wägen und messen lassen. Solche individuelle Singula sind die Tropfen (Wassertropfen, Öltropfen), die luftgefüllten Blasen (Seifenblasen, Schaumblasen, Vakuolen), die Körner (amorphe Sandkörner, Chlorophyllkörner), die Kristalle (flüssige und feste Kristalle), die Moneren (kernlose Zytoden) und die organischen

Zellen. Allein auch die Entstehung der Weltkörper beruht auf Singulation der bewegten Materie; auch diese kosmischen Individuen sind entweder durch Ablösung von größeren rotierenden Massen oder durch Kondensation aus kosmischem Staub entstanden. Die physikalischen Gesetze dieser Singulation sind einerseits durch die chemische Konstitution und die damit verknüpfte Innerung der Masse bedingt, anderseits durch die Äußerung der Umgebung. Besonders kommt dabei in Betracht die innere Reibung der Moleküle im Gegensatz zur Oberflächenspannung, die Kohäsion und Adhäsion, und die Richtkraft usw.

Integration der Substanz. Im Antagonismus zur Singulation der Materie steht ihre Integration, die Vereinigung der getrennten Individuen zu größeren Einheiten. So entstehen durch Assoziation aus Atomgruppen die Moleküle, aus geordneten Molekülgruppen die Kristalle. Zunächst kommt hierbei in Betracht die Kohäsion der gleichartigen, die Adhäsion der ungleichartigen Moleküle. Die Gravitation als Massenanziehung bewirkt das Wachstum der Weltkörper; von den unzählbaren Massen von Meteoriten und kosmischem Staube, der im Weltraum zwischen den Sonnen und Planeten schwebt, fällt beständig ein Teil auf diese herab. Wenn viele Rheokristalle nebeneinander in einer Lösung wachsen, verzehren die größeren Individuen die kleineren. Auch im sozialen und politischen Leben der Kulturmenschen absorbieren die größeren Vereine und Staaten durch ihre Anziehungskraft die kleineren und wachsen auf deren Kosten. Ewiges „Werden und Vergehen“ beherrscht die größten wie die kleinsten Aggregate. Auf dem ewigen Wechselspiel von Integration und Singulation beruht das Drama des kosmischen wie des organischen Lebens, die Kristallisation und die Witterung ebenso wie die Biogenesis.

Archigonie (Urzeugung). Die Frage nach der ersten Entstehung des organischen Lebens auf unserem Erdball gilt noch heute in weitesten Kreisen für eines der schwierigsten „Welträtsel“. Ich habe dieses viel umstrittene Problem, über welches noch jetzt die seltsamsten Hypothesen sich gegenüberstehen, in vielen früheren Schriften so eingehend behandelt, daß ich hier einfach darauf verweisen kann. Im 15. Kapitel der „Lebenswunder“ habe ich (1904) kurz die Gründe zusammengefaßt, welche meine persönliche (schon 1866 im zweiten Buche der Generellen Morphologie, 6. Kapitel, eingehend dargelegte) Auffassung dieses schwierigen Problems bestätigen. Sie stimmen im wesentlichen mit den scharfsinnigen

physikalischen Erörterungen überein, die Karl Naegeli 1884 in seiner „Mechanisch-physiologischen Begründung der Abstammungslehre" gegeben hatte. Damals waren noch nicht die „flüssigen Kristalle" bekannt, welche zwanzig Jahre später ihnen so wichtige Stützen lieferten. Heute nun erscheinen uns die Schwierigkeiten dieser Streitfrage im wesentlichen beseitigt. Es kommt darauf an, ob wir den Begriff des „Lebens" im weiteren (physikalischen) oder im engeren (physiologischen) Sinne auffassen. Wenn wir den Anschauungen der modernen monistischen Physik folgen, so müssen wir die kinetische Theorie der Materie annehmen und die „lebendige Kraft" als „aktuelle Energie" allen Naturkörpern zuschreiben, solange sie im Zustande der Bewegung sind (Molekularbewegung, chemische und mechanische Energie usw.). Darum ist das Leben „ewig"; ein ununterbrochener Wechsel von Bewegung (aktueller Energie) und Ruhe (latenter Energie). Wenn wir dagegen mit der heutigen Zellularphysiologie (Max Verworn) den Begriff des organischen Lebens auf den Stoffwechsel des Plasmamoleküls (als eines Komplexes von Eiweißkörpern) beschränken, so müssen wir annehmen, daß dieses organische Leben auf unserem Planeten einen zeitlichen Anfang gehabt hat; es konnte erst entstehen, nachdem der glühende Erdball sich an der Oberfläche abgekühlt hatte und tropfbar flüssiges Wasser niedergeschlagen war; denn dieses ist für den Stoffwechsel des festflüssigen Plasma unentbehrlich. Dann müssen wir aber jetzt annehmen, daß die ältesten Organismen nicht Zellen (kernhaltige Plastiden) waren, sondern Zytoden (kernlose „Bildnerinnen"). Das Problem der Archigonie wird dann gelöst durch folgende einfache Hypothese: I. Durch einen chemischen Prozeß (Katalyse kolloidaler Substanz) entstand Plasma, als materieller „Lebensstoff". II. Durch Singulation zerfiel dieses strukturlose Plasma in gleichartige individuelle Teile: Plasmakugeln, gleich Chroococcus. III. Diese sphärischen Zytoden (kernlose Plastiden) bildeten im Innern einen Kern und verwandelten sich so in echte Zellen (durch Differenzierung von innerem Karyoplasma und äußerem Zytoplasma). IV. Die charakteristischen Erscheinungen der „Organisation", des Zusammenwirkens von verschiedenen „Organen", haben sich erst durch Arbeitsteilung der Organelle während langer Zeiträume allmählich entwickelt.

Vitalismus (Dogma der Lebenskraft). **Bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts blieb die alte Vorstellung herrschend, daß eine**

besondere Lebenskraft (Vis vitalis) das organische Leben beherrsche, im Gegensatz zu den anorganischen Erscheinungen, die nur durch physikalische und chemische Gesetze bedingt seien. Erst in den Jahren 1850—1860 wurde diese vitalistische Metaphysik zurückgedrängt und namentlich durch die moderne Entwicklungslehre überwunden. Es zeigte sich, daß alle Lebenserscheinungen auf dieselben Gesetze der Physik und Chemie zurückführbar sind, die auch in der anorganischen Natur herrschen. Neuerdings ist aber trotzdem ein mystischer „Neovitalismus" wieder erwacht; er versucht mittelst einer übernatürlichen „Entelechie" einen künstlichen Dualismus zur Geltung zu bringen. Durch metaphysische unklare Begriffe, wie z. B. „harmonisch-äquipotentielle Systeme", scheinbar gestützt auf Experimente sehr verwickelter Natur, hat dieser neue moderne Vitalismus beträchtliche Verwirrung hervorgerufen. Das erklärt sich aus dem Umstande, daß viele Biologen die Übersicht über das ausgedehnte Gebiet der Lebensforschung verloren haben und insbesondere deren historischen Teil ignorieren. Tatsächlich ist die Teleologie dieses modernen Neovitalismus schwächer begründet und leichter zu widerlegen, als der alte Palavitalismus vor fünfzig Jahren. Ich habe im 2. Kapitel der „Lebenswunder" dies ausführlich auseinandergesetzt.

Durch die Entdeckung der Lebenserscheinungen bei den „flüssigen Kristallen" einerseits (1904), durch den gleichzeitig geführten Nachweis kernloser Zellen bei den geschlechtslosen „Probionten" anderseits, ist der „Lebensbegriff" auf alle Naturkörper ausgedehnt; damit ist jeder Art von Vitalismus — altem wie neuem — der Boden entzogen. „Alles lebt", solange es Fühlung und Bewegung besitzt. Der alte Begriff der „lebendigen Kraft", der neuerdings durch „aktuelle Energie" ersetzt wurde, gewinnt wieder seine Berechtigung. Solange die Atome und die aus ihrer Verbindung aufgebauten Moleküle Arbeit verrichten, so lange sind sie „lebendig". Wenn diese Arbeit aufhört und die Substanz in den Ruhezustand übergeht, verwandelt sich die aktuelle in „potentielle Energie", die Triebkraft in Spannkraft. Die „Arbeitsfähigkeit" aber bleibt auch dieser „ruhenden" oder latenten Kraft erhalten und wird als Energie der Lage bezeichnet. Das alles beherrschende Substanzgesetz — die Erhaltung der Materie, der Energie und des Psychoms — lehrt uns, daß das ganze Wechselspiel des Lebens nur auf diesem ewigen „Kraftwechsel" beruht. Im universalen Seelenleben wechseln ebenso beständig die beiden

psychomatischen Urzustände: Anziehung (positiver Tropismus) und Abstoßung (negativer Tropismus) — „Liebe und Haß der Elemente" von Empedokles.

Zweck und Zufall. Durch das Zusammenwirken der epochemachenden Entdeckungen des Jahres 1904, deren Grundzüge und Beziehungen ich in der vorliegenden Schrift über „Kristallseelen" darzustellen versucht habe, sind nicht nur in den verschiedenen damit beschäftigten Einzelwissenschaften bedeutende Fortschritte erzielt, sondern auch die großen allgemeinen Fragen unserer gesamten Weltanschauung geklärt und gefördert worden. Unser naturalistischer Monismus, dessen Prinzipien ich 1866 in der Generellen Morphologie zuerst formuliert und in vielen späteren Schriften ausgeführt habe, hat durch die empirischen Erkenntnisse der letzten dreizehn Jahre eine so feste Begründung erhalten, daß sein stärkster Gegner, der metaphysische Dualismus, im Prinzip als besiegt gelten kann. Die mystische Teleologie des letzteren und der damit verknüpfte Vitalismus sind widerlegt. Damit ist zugleich die uralte Frage der philosophischen Spekulation erledigt, ob „Zweck oder Zufall" die Welt regiert.*) Wenn in neuester Zeit versucht worden ist, die Selektionstheorie von Charles Darwin als „Zufallstheorie" zu widerlegen, so bedarf dieser Irrtum keiner Widerlegung. Denn jedes einzelne Geschehen im Weltall ist naturgesetzlich bedingt, also kein Zufall. Wohl aber spielt der Zufall überall die größte Rolle durch das zeitliche oder räumliche Zusammentreffen von zwei oder mehreren Ereignissen, die vorher in keinem Kausalnexus standen, von denen aber jedes für sich seinen zureichenden Grund hat. Die vielen Mißverständnisse, die sich an dieses Problem knüpfen, sind großenteils durch teleologische, mystische und religiöse Vorstellungen veranlaßt, besonders aber dadurch, daß man die Organisation der Lebewesen durch einen bewußt vorbedachten Zweck eines persönlichen Schöpfers zu erklären versucht. Die Vergleichung der Kristallseelen mit den Zellseelen und die Ausdehnung der Psychomatik auf das ganze Universum haben uns überzeugt, daß in der organischen Natur dieselben unbewußten Kräfte, Fühlungen und Bewegungen walten wie in der anorganischen Natur. Das Substanzgesetz gilt ebenso für die Organismen wie für die Kristalle.

---

*) Ewigkeit, Weltkriegsgedanken über Leben und Tod, Religion und Entwicklungslehre. Berlin 1915.

Anhang.

Synoptische Tabellen.

I. Tabelle: **Symmetrie-Systeme der Sterrokristalle.** Grundformen, Achsen und Symmetrie-Ebenen der sechs Systeme.

II. Tabelle: **Promorphologisches System.** Klassen der geometrischen Grundformen.

(Wiederholt aus Kapitel 8 der „Lebenswunder", 1904, S. 215. — Große Ausgabe.)

III. Tabelle: **Radiotik und Kristallotik.** Biokristallisation in den vier Legionen der Radiolarien.

IV. Tabelle: **Vier Hauptformen der Hemitomie.** Allgemeine Gesetze der Zweiteilung.

V. Tabelle: **Stufenleiter des Seelenlebens.** Psychomatische Skala.

(Vgl. S. 121, und „Lebenswunder", 1904, S. 360.)

VI. Tabelle: **Stufenleiter der Organisation.** Biogenetische Skala. (Vegetale und animale Skala.)

VII. Tabelle: **Biotische Geogenie.** Hauptperioden des Seelenlebens in der Erdgeschichte.

VIII. Tabelle: **Monistische Substanzlehre.**

(Wiederholt aus „Gott-Natur", Studien über monistische Religion, 1914, S. 67.)

Erste Tabelle.
Symmetrie-Systeme der Sterrokristalle.

	Sechs Systeme	Grundform des Systems	Achsen des Systems	Symmetrie-Ebenen des Systems
I.	**Tesserales Kristall-System** (Reguläres System)	1. Reguläres Oktaeder — Reguläres Hexaeder (Würfel)	Drei Richtachsen gleich, sich rechtwinkelig schneidend Keine Hauptachse	Neun Symmetrie-Ebenen (Drei Hauptebenen und sechs Nebenebenen)
II.	**Hexagonales Kristall-System** (Monotrimetrisches System)	3. Sechsseitige Dipyramide — Hexagonal-Dodekaeder	Eine vertikale Hauptachse, unter Winkeln von 60° drei gleiche Kreuzachsen schneidend	Vier Symmetrie-Ebenen; eine Hauptebene sechszählig, drei Nebenebenen gleich
III.	**Tetragonales Kristall-System** (Quadratisches System)	2. Quadratische Dipyramide — Quadratische Säule	Eine vertikale Hauptachse, rechtwinkelig zwei gleiche Kreuzachsen schneidend	Drei Symmetrie-Ebenen; eine Hauptebene vierzählig, zwei Nebenebenen gleich
IV.	**Rhombisches Kristall-System** (Trimetrisches System)	4. Rhombisches Oktaeder — Rhombische Säule	Drei Richtachsen ungleich, sich rechtwinkelig schneidend	Drei Symmetrie-Ebenen, sich rechtwinkelig schneidend (Keine Hauptebene)
V.	**Monoklines Kristall-System** (Monosymmetrisches System)	5. Klinorhombisches Prisma — Schief geneigte Säule auf rhombischer Grundfläche	Drei Richtachsen ungleich. Eine vertikale Hauptachse; zwei Kreuzachsen sich schiefwinkelig schneidend	Eine einzige Symmetrie-Ebene (Neben-Ebene) Keine Hauptebene
VI.	**Triklines Kristall-System** (Asymmetrisches System)	6. Klinorhomboidisches Prisma — Schief geneigte Säule mit drei ungleichen Flächenpaaren	Drei Richtachsen ungleich, sich schiefwinkelig schneidend	Keine Symmetrie-Ebene

Zweite Tabelle.

Promorphologisches System.

Klassen der geometrischen Grundformen.

Vier Klassen der Grundformen nach den Verhältnissen der Körpermitte	Sechs Klassen der Grundformen nach den Verhältnissen der Körperachsen	Neun Ordnungen der Grundformen nach den Verhältnissen der Achsen-Pole	Charakter der wichtigsten Grundformen
A. Erste Klasse. **Centrostigma.** Die geometrische Mitte ist ein Punkt (Stigma centrale). Keine Hauptachse	**I. Homaxonia** Gleichachsige Grundform	**1. Glattkugel** (Holosphaera)	1. Geometrisch reine Kugeln; alle möglichen Achsen gleich
	II. Polyaxonia. Vielachsige Grundform	**2. Tafelkugel** (Phatnosphaera)	2. Polyedrische Formen, deren Ecken sämtlich in eine Kugelfläche fallen
B. Zweite Klasse. **Centraxonia.** Die geometrische Mitte ist eine gerade Linie (die vertikale Hauptachse, Axon centralis)	**III. Monaxonia.** Einachsige Grundform. Keine bestimmten Kreuzachsen (Querschnitt kreisrund)	**3. Sphäroidale Grundform** (Monaxonia isopola)	3. Spindel, Ellipsoide, Sphäroide, Linsen, Zylinder
		4. Konoidale Grundform (Monaxonia allopola)	4. Kegel, Oviform, Halbkugel, Halblinse
	IV. Stauraxonia. Kreuzachsige Grundform. Bestimmte Kreuzachsen ausgeprägt (Querschnitt polygonal)	**5. Dipyramide Grundform** (Stauraxonia isopola).	5a. Reguläre Doppel-Pyramiden. 5b. Zweischneidige Doppel-Pyramiden
		6. Pyramidale Grundform (Stauraxonia allopola)	6a. Reguläre Pyramiden. 6b. Zweischneidige Pyramiden
C. Dritte Klasse. **Centroplana.** Die geometrische Mitte ist eine Ebene (die sagittale Medianebene, Planum centrale)	**V. Triaxonia.** Dreiachsige Grundform. Drei auf einander senkrechte Richtachsen (Euthyni) bestimmen den Unterschied von Rechts und Links, von Rücken und Bauch	**7. Amphipleura.** Bilateral-radiale Grundform (schienige Grundform). 4 od. mehr Gegenstücke (Antimeren)	7a. Paarig-Schienige (Paramphipleura). 7b. Unpaar-Schienige (Dysamphipleura)
		8. Zygopleura. Bilateral-symmetrische Grundform (jochpaar.Grundf.). Nur 2 Gegenstücke (Antimeren)	8a. Persymmetrische (rechts und links gleich). 8b. Asymmetrische (rechts und links ungleich)
D. Vierte Klasse. **Centraporia.** Die geometr. Mitte fehlt gänzlich	**VI. Aanxonia.** Fehlachsige Grundform. Keine Achsen	**9. Irreguläre Grundform.** Ganz unregelmäßig	9. Bestimmte Achsen und Pole sind nicht unterscheidbar

Dritte Tabelle.

Radiotik und Kristallotik.

Morphologische und Psychomatische Beziehungen zwischen Kristallen und Radiolarien.

Erste Subklasse der Radiolarien: (Spumellarien und Acantharien) Porulosa (= Holotrypasta)	**Zweite Subklasse der Radiolarien:** (Nassellarien und Phaeodarien) Osculosa (= Merotrypasta)
Zentralkapsel ursprünglich kugelig, ohne Hauptöffnung oder Osculum, mit zahllosen feinen Poren der Membran	Zentralkapsel ursprünglich eiförmig oder sphäroidal, mit einem Osculum am Basalpole der vertikalen Hauptachse
I. Legion: Spumellaria (Schaumstrahlinge oder Peripylea) **Zelle** mit zentralem, spät gespaltenem Kern. Poren der Membran überall gleichmäßig verteilt **Skelett** aus Kieselerde, ursprünglich eine Gitterkugel, oft mit regelmäßig verteilten Radialstacheln, nach der Grundform des tesseralen Kristallsystems **Dictyose** kristallin, meist regulär **Psychoma** mit labilem Gleichgewicht **Charakter:** Sphaerokristall mit Kombination von radialem und tangentialem Wachstum	**III. Legion: Nassellaria** (Korbstrahlinge oder Monopylea) **Zelle** mit exzentrischem, spät gespaltenem Kern, mit einer basalen Porochora, einem Porenfeld, aus dem ein Bündel von Pseudopodien austritt **Skelett** aus Kieselerde, ursprünglich ein vertikaler Ring oder ein Biokristall verschiedener Systeme, sehr variabel **Dictyose** kristallin, meist irregulär **Psychoma** mit stabilem Gleichgewicht **Charakter:** Einachsiger Biokristall; meistens mit Kombination von Sagittalring und basalem Tripodium
II. Legion: Acantharia (Sternstrahlinge oder Actipylea) **Zelle** mit exzentrischem, früh gespaltenem Kern. Poren der Membran in bestimmte radiale Bündel und Reihen geordnet **Skelett** aus Coelestin oder Acanthin, ursprünglich ein Stern mit vielen Strahlen, die vom Mittelpunkt der Zentralkapsel ausstrahlen. Meistens ein Biokristall des tetragonalen Systems, mit 20 Radialstacheln, nach Müllers Gesetz verteilt in 5 Zonen von je 4 Stacheln **Dictyose** kristallin, symmetrisch **Psychoma** primär mit labilem, sekundär mit stabilem Gleichgewicht **Charakter:** Sphaerokristall mit überwiegendem radialem Achsen-Wachstum, meistens mit Icosakanthen-Symmetrie	**IV. Legion: Phaeodaria** (Rohr-Strahlinge oder Cannopylea) **Zelle** mit einem exzentrischen, stark differenzierten Kern, mit einem basalen Strahlendeckel (Astropyle), aus dessen Mündungsrohr (Canna) ein starker Plasmastrom austritt **Skelett** aus einem Karbon-Silikat, bald sehr einfach, bald höchst zusammengesetzt und differenziert **Dictyose** polymorph, sehr verschiedenartig, oft hexagonal. **Psychoma** sehr variabel, ursprünglich mit labilem, oft später mit stabilem Gleichgewicht **Charakter** sehr mannigfaltig entwickelt (polyphyletisch); bald kristallin, bald amorph, oft mit sehr komplizierten Symmetrie-Verhältnissen.

10*

Vierte Tabelle.

Vier Hauptformen der Hemitomie

bedingt durch die Wirkung der Molethynen in den drei **Richtungen des Raumes** (entsprechend den drei Koordinaten-Achsen der Kristalle).

Hemitomie der Zytoden	Chromaceen	Bakterien	Kristalle
I. Polythyne Hemitomie Teilung der kernlosen Plastide frei und unbestimmt, nach allen Raumrichtungen — **Coenobien amorph oder kugelig**	**Chroococcus, Aphanocapsa** (Ebenso auch viele Protisten und Gewebzellen von Histonen)	**Archicoccus Micrococcus** Viele Molethynen (Kugel-Bakterien)	Grundform der Sphaerokristalle: Kugel
II. Cubothyne Hemitomie Teilung der kernlosen Plastide abwechselnd nach drei Richtungen des Raumes, die aufeinander senkrecht stehen — **Coenobien würfelförmig oder kugelig**	**Gloeocapsa, Gloeocystis** (Ebenso auch viele Protisten. Furchungszellen bei regulärer Eifurchung)	**Sarcina Plakosarcina** Drei Molethynen (Würfel-Bakterien)	Grundform des tesseralen Kristallsystems, Würfel (oder Oktaeder)
III. Plakothyne Hemitomie Teilung der kernlosen Plastide in einer ebenen Fläche, nach zwei aufeinander senkrechten Richtungen des Raumes — **Coenobien tafelförmig, flach** (oft quadratische oder polygonale Platten)	**Merismopedia Tetrapedia Coelosphaerium Tetraspora** (Ebenso auch Pediastrum und viele Protisten. Diskoidale Eifurchung, Wachstum vieler Epitelien)	**Micrococcus Tetracoccus** Zwei Molethynen (Tafel-Bakterien)	Grundform d. tetragonalen Kristallsystems (quadratische Tafel)
IV. Hormothyne Hemitomie Teilung der kernlosen Plastide nach einer einzigen Richtung des Raumes — **Coenobien catenal** (kettenförmig, fadenförmig)	**Oscillatoria, Nostocaceae** (Ebenso auch fadenförmiger Thallus vieler Protophyten. Haare und Fasern vieler Gewebe von Histonen)	**Streptococcus Bacillus** Eine Molethyne (Faden-Bakterien)	Grundform der einachsigen Kristalle: Spindel — Margaritenkette (Catenal-Cylinder)

Fünfte Tabelle.

Stufenleiter des Seelenlebens (Psychomatische Skala).

12 Hauptstufen der Psychomatik	Äußerungen der Seelentätigkeit (Psychomatische Funktionen)	Materielle Grundlagen der beseelten Substanz
12. Stufe **Geist des Kulturmenschen**	Entwicklung der Vernunft und d. Weltbewußtseins, Wissenschaft (Philosophie) und Kunst	Denkorgan (Phronema) in der Großhirnrinde. Phronetal-Zellen
11. Stufe **Seele des Naturmenschen u. der höheren Tiere**	Entwicklung des Verstandes und des Selbstbewußtseins, sowie der höheren Sinnestätigkeit	Gehirn und Rückenmark der Wirbeltiere. Bauchmark der Gliedertiere
10. Stufe **Seele der niederen Gewebtiere**	Entwicklung der Sinnes- und Nerventätigkeit auf vielen Abstufungen. Höhere Instinkte	Nervensystem zentralisiert; Sinnesorgane meist auf niederer Stufe
9. Stufe **Seele der Spongien u. Polypen**	Unbewußtes Seelenleben (stumpf) wie bei den niederen Pflanzen. Instinkte niederer Art	Nervensystem noch nicht zentralisiert; höhere Sinnesorgane fehlen noch
8. Stufe **Seele der höheren Pflanzen (Kormophyten)**	Hochentwickelte Empfindung bei den Sinnpflanzen und höheren Kormophyten, mit Sinnesorganen. Viele Stufen der Instinkte	Psychoplasma der sozialen Pflanzenzellen, sehr empfindlich, mit besonderen Sinnesorganen
7. Stufe **Seele der niederen Pflanzen (Thallophyten)**	Wenig entwickelte Empfindung bei den niederen Kormophyten, ohne Sinnesorgane, und bei den Thallophyten	Psychoplasma der sozialen Pflanzenzellen, wenig empfindlich, ohne besondere Sinnesorgane
6. Stufe **Seele d. Zellvereine (Coenobien)**	Entwicklung d. sozialen Instinkte durch dauernde Vereinigung vieler gleichartiger Zellen	Plasma-Netze d. sozial verbundenen Zellen in d. „Zellkolonien" (Plasmodesmen)
5. Stufe **Seele d. einzelligen Protisten**	Solitäre Zellseele der Protozoen (Radiolarien, Infusorien) u. d. Protophyten (Diatomeen, Algarien)	Beginn der sexuellen Differenzierung m. Kopulation der Zellkerne (Ei u. Sperma)
4. Stufe **Seele der Probionten**	Zytoden-Seele der kernlosen Plastiden (Moneren, Bakterien, Chromaceen); ohne Erotik, völlig geschlechtslos	Archiplasma der kernlosen Zytode, ohne Sexualismus (Fortpflanzung nur durch Hemitomie)
3. Stufe **Krystallseele**	Kristallisation. Dreidimensionale periodische Parallel-Ordnung der sozialverbundenen Moleküle	Substanz der Kristalle, aus homogenen Molekülen zusammengesetzt
2. Stufe **Molekülseele**	Physikalische Energie der Kohäsion, Adhäsion, Moletropie usw.	Substanz der Moleküle, aus Atomen zusammengesetzt
1. Stufe **Atomseele**	Chemische Energie, Wahlverwandtschaft, Katalyse, Kontaktwirkung usw.	Substanz der chemischen Elemente, aus Elektronen zusammengesetzt

Stufe 1-3 **Elementarseele** (Leptopsyche)	Stufe 4-6 **Plastidenseele** (Plasmopsyche)
Stufe 7—8 **Pflanzenseele** (Phytopsyche)	Stufe 9—12 **Tierseele** (Zoopsyche)

Sechste Tabelle:
Biogenetische Skala.

Parallele Stufenleiter der Organisation

Stufen	im Pflanzenreiche **Vegetale Skala**	und im Tierreiche **Animale Skala**	Stufen
IV. Stufe Stockpflanzen **Cormophyta** — Metaphyten mit Cormus (Stengel mit Blättern)	Decksamige Angiospermae Nacktsamige Gymnospermae Farnpflanzen Pteridophyta Moospflanzen **Bryophyta**	Wirbeltiere Vertebrata Gliedertiere Articulata Sterntiere Echinoderma Weichtiere Mollusca Wurmtiere **Vermalia**	IV. Stufe Obertiere **Coelomaria** — Metazoen mit Leibeshöhle (Bilaterata)
III. Stufe: Lagerpflanzen **Thallophyta** — Metaphyten mit Thallus (Zellenlager ohne Blätter)	Brauntange Fucoideae Flechten Lichenes Rottange Florideae Pilze Fungi Grüntange Conferveae Tange **Algae**	Plattentiere Platodes Nesseltiere Cnidaria Schwamm-tiere Spongiae Urdarmtiere **Gastraeades**	III. Stufe Niedertiere **Coelenteria** — Metazoen ohne Leibeshöhle (Coelenterata)
II. Stufe: Urpflanzen **Protophyta** — Einzellige plasmodome Protisten (Mit Kern)	Schachtellinge Diatomea Siphonea Ascalgetta Paulotomea Palmellacee **Algaria** (Einzellige Algen) Geißlinge **Flagellata**	Strahlinge Radiolaria Wimperlinge Ciliata Heliozoa Rhizopoda Amoebina **Infusoria** (Einzellige Urtiere)	II. Stufe Urtiere **Protozoa** — Einzellige plasmophage Protisten (Mit Kern)
I. Stufe: Vorpflanzen **Archephyta** — Kernlose plasmodome Probionten	**Chromacea** (Plasmodom) Rivulariaceae Nostocaceae Oscillariaceae Hormogonea Coccogonea **Chroococcus**	**Bakteria** (Plasmophag) Eubakteria Nitro-bakteria Thio-bakteria Rhabdobakteria Sphaerobakteria	I. Stufe Vortiere **Archezoa** — Kernlose plasmophage Probionten

Siebente Tabelle.

Biotische Geogenie.

Hauptperioden des Seelenlebens in der Erdgeschichte.

Vier Perioden der Lebens-Entwicklung auf der Erde	**Morphologische Prozesse** im ältesten Lebensalter unseres Planeten	**Psychomatische Progresse** im ältesten Seelenleben der Gaea
I. Periode: **Anorganisches Erdenleben** Physikalische und chemische Prozesse ohne Plasma	**Singulation des Planeten Gaea** Der Erdkörper löst sich als individueller Weltkörper von seiner Mutter Sonne ab. Bildung der erstarrten festen Erdrinde, später des tropfbar flüssigen Wassers	**Mineral-Seele** Die physikalischen und chemischen Prozesse im glutflüssigen Mineralkörper des Planeten erlauben noch keine Bildung von Plasma
II. Periode: **Probiontisches Erdenleben** {Chromaceen, Bakterien, Moneren	**Archigonie von Zytoden** Bildung des ersten Plasma (der ältesten „lebendigen Substanz“) durch Katalyse von kolloidalen Kohlenstoff-Verbindungen. Singulation der Zytoden. Monogonie. Noch keine sexuelle Differenzierung	**Carbon-Seele** Beginn des organischen Lebens. Kohlenstoff verbindet sich mit den anderen organogenen Elementen zu riesigen Plasma-Molekülen von zunehmender Zusammensetzung
III. Periode: **Protistisches Erdenleben** {Einzellige kernhaltige Organismen **A. Protophyten** (Plasmodom) **B. Protozoen** (Plasmophag) (B aus A durch Metasitismus entstanden). Sexuelle Differenzierung	**Karyogonie von Zellen** Bildung der ersten echten Zellen aus kernlosen Zytoden. (Durch Differenzierung des inneren Karyoplasma und des äußeren Cytoplasma sondert sich der Zellkern [Nucleus] vom Zellenleib [Cytosoma].) Der Zellkern wird Organell der Vererbung; der Zellenleib vermittelt die Anpassung	**Zellseele** Beginn wirklicher Organisation; durch die Arbeitsteilung von innerer Kernsubstanz und äußerer Zellsubstanz entsteht die „Kernzelle“, als „Elementar-Organismus“, damit zugleich entwickelt sich der Sexualismus (Eros)
IV. Periode: **Histonisches Erdenleben** {Vielzellige Organismen **A. Metaphyten** (Gewebepflanzen) **B. Metazoen** (Gewebetiere)	**Histogonie von Geweben** Bildung der ersten Gewebe: Zellvereine mit physiologischer Arbeitsteilung und morphologischer Differenzierung (Aus lockeren Zellvereinen, Coenobien, entwickeln sich festere Zellschichten mit zunehmendem Polymorphismus)	**Histonseele** Die engere Verbindung der zahlreichen Zellen in den Geweben und ihre fortschreitende Ergonomie führt zur Bildung mannigfaltiger Organe u. Organsysteme

Achte Tabelle.

Monistische Substanzlehre

(Drei Attribute der Substanz oder des „Kraftstoffes".)

I. Materie (=Stoff=Hyle) **Weltstoff.**	**II. Energie** (=Kraft=Arbeit) **Weltkraft.**	**III. Psychom** (=Urseele=Fühlung) **Weltseele.**
Materialistisches Prinzip (Prakriti, Sankhya). **Materialismus** (=Hylismus) (Ausdehnung).	Dynamisches Prinzip (Karma, Buddhismus). **Energetik** (=Energielehre) (Wille).	Psychistisches Prinzip (Atman im Veda) **Psychomatik** (=Panpsychismus) (Empfindung).
Raumerfüllendes Substrat aller Substanz (Hypokeimenon) (Zurückführung alles Seins und Werdens auf Materie oder Stoff).	Wirkende Arbeit, Funktion aller Substanz (Energie) (Zurückführung alles Seins und Werdens auf Energie oder Kraft).	Unterscheidende Fühlung aller Substanz (Ästhesis) (Zurückführung alles Seins und Werdens auf Psyche oder Seele).
Zwei Urzustände. **I. A. Äther** (Weltäther=Lichtäther) „gespannte Materie" Struktur kontinuierlich (nicht atomistisch) Imponderable Substanz.	Zwei Urzustände. **II. A. Spannkraft** Potentielle Energie „Arbeitsfähigkeit" Ruhende Kraft Energie der Lage.	Zwei Urzustände. **III. A. Anziehung** Attraktion. Neigung, „Liebe der Elemente" Lust-Gefühl Positiver Tropismus.
I. B. Masse „Verdichtete Materie" Struktur atomistisch (Diskrete Teilchen) Ponderable Substanz.	**II. B. Triebkraft** Aktuelle Energie „Arbeitsleistung" Lebendige Kraft Wirkende Energie der Bewegung.	**III. B. Abstoßung** Repulsion, Widerstand, „Haß der Elemente" Unlust-Gefühl Negativer Tropismus.
Alle Substanz besitzt Ausdehnung (Extensio) und füllt Raum aus.	Alle Substanz besitzt Kraft oder Energie und wirkt auf ihre Umgebung.	Alle Substanz besitzt Fühlung oder Empfindung für ihre Umgebung.
Konstanz der Materie Universalgesetz von der „Erhaltung des Stoffes".	**Konstanz der Energie** Universalgesetz von der „Erhaltung der Kraft".	**Konstanz des Psychoms** Universalgesetz von der „Erhaltung der Fühlung".

Druck von Ernst Hedrich Nachf., G. m. b. H., Leipzig.

GNU Free Documentation License
Version 1.2, November 2002

0. PREAMBLE

The purpose of this License is to make a manual, textbook, or other functional and useful document "free" in the sense of freedom: to assure everyone the effective freedom to copy and redistribute it, with or without modifying it, either commercially or noncommercially. Secondarily, this License preserves for the author and publisher a way to get credit for their work, while not being considered responsible for modifications made by others.

This License is a kind of "copyleft", which means that derivative works of the document must themselves be free in the same sense. It complements the GNU General Public License, which is a copyleft license designed for free software.

We have designed this License in order to use it for manuals for free software, because free software needs free documentation: a free program should come with manuals providing the same freedoms that the software does. But this License is not limited to software manuals; it can be used for any textual work, regardless of subject matter or whether it is published as a printed book. We recommend this License principally for works whose purpose is instruction or reference.

1. APPLICABILITY AND DEFINITIONS

This License applies to any manual or other work, in any medium, that contains a notice placed by the copyright holder saying it can be distributed under the terms of this License. Such a notice grants a world-wide, royalty-free license, unlimited in duration, to use that work under the conditions stated herein. The "Document", below, refers to any such manual or work. Any member of the public is a licensee, and is addressed as "you". You accept the license if you copy, modify or distribute the work in a way requiring permission under copyright law.

A "Modified Version" of the Document means any work containing the Document or a portion of it, either copied verbatim, or with modifications and/or translated into another language.

A "Secondary Section" is a named appendix or a front-matter section of the Document that deals exclusively with the relationship of the publishers or authors of the Document to the Document's overall subject

(or to related matters) and contains nothing that could fall directly within that overall subject. (Thus, if the Document is in part a textbook of mathematics, a Secondary Section may not explain any mathematics.) The relationship could be a matter of historical connection with the subject or with related matters, or of legal, commercial, philosophical, ethical or political position regarding them.

The "Invariant Sections" are certain Secondary Sections whose titles are designated, as being those of Invariant Sections, in the notice that says that the Document is released under this License. If a section does not fit the above definition of Secondary then it is not allowed to be designated as Invariant. The Document may contain zero Invariant Sections. If the Document does not identify any Invariant Sections then there are none.

The "Cover Texts" are certain short passages of text that are listed, as Front-Cover Texts or Back-Cover Texts, in the notice that says that the Document is released under this License. A Front-Cover Text may be at most 5 words, and a Back-Cover Text may be at most 25 words.

A "Transparent" copy of the Document means a machine-readable copy, represented in a format whose specification is available to the general public, that is suitable for revising the document straightforwardly with generic text editors or (for images composed of pixels) generic paint programs or (for drawings) some widely available drawing editor, and that is suitable for input to text formatters or for automatic translation to a variety of formats suitable for input to text formatters. A copy made in an otherwise Transparent file format whose markup, or absence of markup, has been arranged to thwart or discourage subsequent modification by readers is not Transparent. An image format is not Transparent if used for any substantial amount of text. A copy that is not "Transparent" is called "Opaque".

Examples of suitable formats for Transparent copies include plain ASCII without markup, Texinfo input format, LaTeX input format, SGML or XML using a publicly available DTD, and standard-conforming simple HTML, PostScript or PDF designed for human modification. Examples of transparent image formats include PNG, XCF and JPG. Opaque formats include proprietary formats that can be read and edited only by proprietary word processors, SGML or XML for which the DTD and/or processing tools are not generally available, and the machine-generated HTML, PostScript or PDF produced by some word processors for output purposes only.

The "Title Page" means, for a printed book, the title page itself, plus such following pages as are needed to hold, legibly, the material this License requires to appear in the title page. For works in formats which do not have any title page as such, "Title Page" means the text near the most prominent appearance of the work's title, preceding the beginning of the body of the text.

A section "Entitled XYZ" means a named subunit of the Document whose

title either is precisely XYZ or contains XYZ in parentheses following text that translates XYZ in another language. (Here XYZ stands for a specific section name mentioned below, such as "Acknowledgements", "Dedications", "Endorsements", or "History".) To "Preserve the Title" of such a section when you modify the Document means that it remains a section "Entitled XYZ" according to this definition.

The Document may include Warranty Disclaimers next to the notice which states that this License applies to the Document. These Warranty Disclaimers are considered to be included by reference in this License, but only as regards disclaiming warranties: any other implication that these Warranty Disclaimers may have is void and has no effect on the meaning of this License.

2. VERBATIM COPYING

You may copy and distribute the Document in any medium, either commercially or noncommercially, provided that this License, the copyright notices, and the license notice saying this License applies to the Document are reproduced in all copies, and that you add no other conditions whatsoever to those of this License. You may not use technical measures to obstruct or control the reading or further copying of the copies you make or distribute. However, you may accept compensation in exchange for copies. If you distribute a large enough number of copies you must also follow the conditions in section 3.

You may also lend copies, under the same conditions stated above, and you may publicly display copies.

3. COPYING IN QUANTITY

If you publish printed copies (or copies in media that commonly have printed covers) of the Document, numbering more than 100, and the Document's license notice requires Cover Texts, you must enclose the copies in covers that carry, clearly and legibly, all these Cover Texts: Front-Cover Texts on the front cover, and Back-Cover Texts on the back cover. Both covers must also clearly and legibly identify you as the publisher of these copies. The front cover must present the full title with all words of the title equally prominent and visible. You may add other material on the covers in addition. Copying with changes limited to the covers, as long as they preserve the title of the Document and satisfy these conditions, can be treated as verbatim copying in other respects.

If the required texts for either cover are too voluminous to fit legibly, you should put the first ones listed (as many as fit reasonably) on the actual cover, and continue the rest onto adjacent pages.

If you publish or distribute Opaque copies of the Document numbering more than 100, you must either include a machine-readable Transparent

copy along with each Opaque copy, or state in or with each Opaque copy a computer-network location from which the general network-using public has access to download using public-standard network protocols a complete Transparent copy of the Document, free of added material. If you use the latter option, you must take reasonably prudent steps, when you begin distribution of Opaque copies in quantity, to ensure that this Transparent copy will remain thus accessible at the stated location until at least one year after the last time you distribute an Opaque copy (directly or through your agents or retailers) of that edition to the public.

It is requested, but not required, that you contact the authors of the Document well before redistributing any large number of copies, to give them a chance to provide you with an updated version of the Document.

4. MODIFICATIONS

You may copy and distribute a Modified Version of the Document under the conditions of sections 2 and 3 above, provided that you release the Modified Version under precisely this License, with the Modified Version filling the role of the Document, thus licensing distribution and modification of the Modified Version to whoever possesses a copy of it. In addition, you must do these things in the Modified Version:

A. Use in the Title Page (and on the covers, if any) a title distinct from that of the Document, and from those of previous versions (which should, if there were any, be listed in the History section of the Document). You may use the same title as a previous version if the original publisher of that version gives permission.
B. List on the Title Page, as authors, one or more persons or entities responsible for authorship of the modifications in the Modified Version, together with at least five of the principal authors of the Document (all of its principal authors, if it has fewer than five), unless they release you from this requirement.
C. State on the Title page the name of the publisher of the Modified Version, as the publisher.
D. Preserve all the copyright notices of the Document.
E. Add an appropriate copyright notice for your modifications adjacent to the other copyright notices.
F. Include, immediately after the copyright notices, a license notice giving the public permission to use the Modified Version under the terms of this License, in the form shown in the Addendum below.
G. Preserve in that license notice the full lists of Invariant Sections and required Cover Texts given in the Document's license notice.
H. Include an unaltered copy of this License.
I. Preserve the section Entitled "History", Preserve its Title, and add to it an item stating at least the title, year, new authors, and publisher of the Modified Version as given on the Title Page. If there is no section Entitled "History" in the Document, create one stating the title, year, authors, and publisher of the Document as given on its Title Page, then add an item describing the Modified Version as stated in the previous sentence.

J. Preserve the network location, if any, given in the Document for public access to a Transparent copy of the Document, and likewise the network locations given in the Document for previous versions it was based on. These may be placed in the "History" section. You may omit a network location for a work that was published at least four years before the Document itself, or if the original publisher of the version it refers to gives permission.
K. For any section Entitled "Acknowledgements" or "Dedications", Preserve the Title of the section, and preserve in the section all the substance and tone of each of the contributor acknowledgements and/or dedications given therein.
L. Preserve all the Invariant Sections of the Document, unaltered in their text and in their titles. Section numbers or the equivalent are not considered part of the section titles.
M. Delete any section Entitled "Endorsements". Such a section may not be included in the Modified Version.
N. Do not retitle any existing section to be Entitled "Endorsements" or to conflict in title with any Invariant Section.
O. Preserve any Warranty Disclaimers.

If the Modified Version includes new front-matter sections or appendices that qualify as Secondary Sections and contain no material copied from the Document, you may at your option designate some or all of these sections as invariant. To do this, add their titles to the list of Invariant Sections in the Modified Version's license notice. These titles must be distinct from any other section titles.

You may add a section Entitled "Endorsements", provided it contains nothing but endorsements of your Modified Version by various parties--for example, statements of peer review or that the text has been approved by an organization as the authoritative definition of a standard.

You may add a passage of up to five words as a Front-Cover Text, and a passage of up to 25 words as a Back-Cover Text, to the end of the list of Cover Texts in the Modified Version. Only one passage of Front-Cover Text and one of Back-Cover Text may be added by (or through arrangements made by) any one entity. If the Document already includes a cover text for the same cover, previously added by you or by arrangement made by the same entity you are acting on behalf of, you may not add another; but you may replace the old one, on explicit permission from the previous publisher that added the old one.

The author(s) and publisher(s) of the Document do not by this License give permission to use their names for publicity for or to assert or imply endorsement of any Modified Version.

5. COMBINING DOCUMENTS

You may combine the Document with other documents released under this License, under the terms defined in section 4 above for modified versions, provided that you include in the combination all of the

Invariant Sections of all of the original documents, unmodified, and list them all as Invariant Sections of your combined work in its license notice, and that you preserve all their Warranty Disclaimers.

The combined work need only contain one copy of this License, and multiple identical Invariant Sections may be replaced with a single copy. If there are multiple Invariant Sections with the same name but different contents, make the title of each such section unique by adding at the end of it, in parentheses, the name of the original author or publisher of that section if known, or else a unique number. Make the same adjustment to the section titles in the list of Invariant Sections in the license notice of the combined work.

In the combination, you must combine any sections Entitled "History" in the various original documents, forming one section Entitled "History"; likewise combine any sections Entitled "Acknowledgements", and any sections Entitled "Dedications". You must delete all sections Entitled "Endorsements".

6. COLLECTIONS OF DOCUMENTS

You may make a collection consisting of the Document and other documents released under this License, and replace the individual copies of this License in the various documents with a single copy that is included in the collection, provided that you follow the rules of this License for verbatim copying of each of the documents in all other respects.

You may extract a single document from such a collection, and distribute it individually under this License, provided you insert a copy of this License into the extracted document, and follow this License in all other respects regarding verbatim copying of that document.

7. AGGREGATION WITH INDEPENDENT WORKS

A compilation of the Document or its derivatives with other separate and independent documents or works, in or on a volume of a storage or distribution medium, is called an "aggregate" if the copyright resulting from the compilation is not used to limit the legal rights of the compilation's users beyond what the individual works permit. When the Document is included in an aggregate, this License does not apply to the other works in the aggregate which are not themselves derivative works of the Document.

If the Cover Text requirement of section 3 is applicable to these copies of the Document, then if the Document is less than one half of the entire aggregate, the Document's Cover Texts may be placed on covers that bracket the Document within the aggregate, or the electronic equivalent of covers if the Document is in electronic form. Otherwise they must appear on printed covers that bracket the whole aggregate.

8. TRANSLATION

Translation is considered a kind of modification, so you may distribute translations of the Document under the terms of section 4. Replacing Invariant Sections with translations requires special permission from their copyright holders, but you may include translations of some or all Invariant Sections in addition to the original versions of these Invariant Sections. You may include a translation of this License, and all the license notices in the Document, and any Warranty Disclaimers, provided that you also include the original English version of this License and the original versions of those notices and disclaimers. In case of a disagreement between the translation and the original version of this License or a notice or disclaimer, the original version will prevail.

If a section in the Document is Entitled "Acknowledgements", "Dedications", or "History", the requirement (section 4) to Preserve its Title (section 1) will typically require changing the actual title.

9. TERMINATION

You may not copy, modify, sublicense, or distribute the Document except as expressly provided for under this License. Any other attempt to copy, modify, sublicense or distribute the Document is void, and will automatically terminate your rights under this License. However, parties who have received copies, or rights, from you under this License will not have their licenses terminated so long as such parties remain in full compliance.

10. FUTURE REVISIONS OF THIS LICENSE

The Free Software Foundation may publish new, revised versions of the GNU Free Documentation License from time to time. Such new versions will be similar in spirit to the present version, but may differ in detail to address new problems or concerns. See http://www.gnu.org/copyleft/.

Each version of the License is given a distinguishing version number. If the Document specifies that a particular numbered version of this License "or any later version" applies to it, you have the option of following the terms and conditions either of that specified version or of any later version that has been published (not as a draft) by the Free Software Foundation. If the Document does not specify a version number of this License, you may choose any version ever published (not as a draft) by the Free Software Foundation.

ADDENDUM: How to use this License for your documents

To use this License in a document you have written, include a copy of the License in the document and put the following copyright and license notices just after the title page:

    Copyright (c) YEAR YOUR NAME.
    Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document
    under the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.2
    or any later version published by the Free Software Foundation;
    with no Invariant Sections, no Front-Cover Texts, and no Back-Cover Texts.
    A copy of the license is included in the section entitled "GNU
    Free Documentation License".

If you have Invariant Sections, Front-Cover Texts and Back-Cover Texts, replace the "with...Texts." line with this:

    with the Invariant Sections being LIST THEIR TITLES, with the
    Front-Cover Texts being LIST, and with the Back-Cover Texts being LIST.

If you have Invariant Sections without Cover Texts, or some other combination of the three, merge those two alternatives to suit the situation.

If your document contains nontrivial examples of program code, we recommend releasing these examples in parallel under your choice of free software license, such as the GNU General Public License, to permit their use in free software.